

# СТРУКТУРНО-ГРАФОВЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ФОНДОВЫХ РЫНКОВ<sup>1</sup>

А.Г. Спиро, Ю.А. Дорофеев

Рассмотрена структурно-графовая модель фондового рынка — орграф, каждая вершина которого соответствует одному из возможных состояний фондового рынка, а взвешенные дуги отражают его переход из одного состояния в другое. Вес дуги отражает меру «возможности» такого перехода. В качестве такой меры используется частота переходов как оценка соответствующей вероятности.

**Ключевые слова:** фондовый рынок, структурно-графовая модель, котировочная цена, разрыв цены, кортеж двоичных переменных, структура фондового рынка, матрица переходных вероятностей, матрица частот переходов.

## ВВЕДЕНИЕ

Фондовый рынок как динамическая система представляет собой достаточно сложный объект исследования, имеющий существенную неопределенность значений параметров, характеризующих его состояние. Именно поэтому достаточно распространенным математическим инструментарием исследования фондового рынка являются методы теории случайных процессов [1, 2], структурно-классификационные методы анализа и прогнозирования [2, 3], а также процедуры фрактального анализа [4, 5]. В последнее время для исследования подобных объектов стали привлекать методы экспертно-когнитивного анализа [6, 7], в том числе для анализа временных рядов, связанных с поведением фондового рынка [8]. Этот подход подразумевает задание структурно-графовой модели динамического описания влияния заданного набора факторов (параметров) на изучаемый объект (в данном случае — фондовый рынок). Как правило, такая модель представляет собой некоторое структурно-формализованное представление экспертных оценок и знаний относительно такого влияния.

В настоящей работе в качестве структурно-графовой модели фондового рынка используется ор-

граф, каждая вершина которого — это одно из возможных состояний фондового рынка, а взвешенные дуги отражают переход фондового рынка из одного состояния в другое. Вес дуги отражает меру «возможности» такого перехода. В качестве такой меры принята частота переходов как оценка соответствующей вероятности. Если параметры (факторы), характеризующие состояние фондового рынка, выбраны «удачно», то такую модель можно использовать также и для прогнозирования.

## 1. ИНФОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СОСТОЯНИЕ РЫНКА

При рассмотрении фондового рынка как динамической системы [5] траекторию движения цены анализируемой ценной бумаги представляют в виде временного ряда, как правило, без учета разрыва цены в момент открытия сессии (по сравнению с ценой закрытия предыдущей сессии). В то же время, по мнению большинства экспертов, разрыв цены — важнейший фактор, характеризующий состояние фондового рынка.

Будем характеризовать состояние фондового рынка по каждой ценной бумаге двумя временными рядами цен (в обратной временной шкале «настоящее — прошлое»):

— временной ряд цен открытия сессии на дату  $T$ :  $(C_o(T), C_o(T-1), \dots, C_o(T-k))$ , где  $k$  — объем выборки или глубины ее просмотра (анализа);

<sup>1</sup> Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект 10-07-00210-а.



менту ряда в окне. Затем окно сдвигается по временной оси на единицу и эта же процедура повторяется в новом окне, и так далее, пока не будут пройдены все точки исследуемого временного ряда (процедура скользящего среднего глубины 3).

В настоящей работе для анализа кортежей  $D_i(T)$  используется скользящее окно длины  $m \ll L_i$ , где  $L_i$  — длина (размерность) кортежа  $D_i(T)$ . Тогда общее число окон, «покрывающих» кортеж по всей длине ряда будет равно  $N_i = L_i - m + 1$ . Обозначим через  $D_{i,j}^m(T)$  окно длины  $m$ , «скользящего» по кортежу типа  $i$  и начальная точка его текущего расположения находится в точке  $T_j$  временной оси (в обратном отсчете времени).

Далее, в качестве наглядного примера рассмотрим окно длины 3 ( $m = 3$ ). Для кортежа первого типа  $D_1(T)$ , соответствующего временному ряду (4), в окне  $D_{1,j}^3(T)$  будут находиться значения  $X_\mu(T_j)$ ,  $X_\mu(T_j - 1)$  и  $X_\mu(T_j - 2)$ . Другими словами, в окне отображаются три последовательных значения двоичной переменной  $X_\mu(T)$  (7а), характеризующей рост  $\mu_\mu(T)$  ( $X_\mu(T) = 1$ ) или отсутствие такового ( $X_\mu(T) = 0$ ) относительного изменения котировочной цены за торговые сессии, начиная с  $T_j$ . Несколько другая ситуация соответствует кортежу  $D_3(T)$ , — в окне  $D_{3,j}^3(T)$  будут находиться значения  $X_\mu(T_j)$ ,  $X_\Delta(T_j)$  и  $X_\mu(T_j - 1)$ . Это означает, что в отличие от предыдущего случая, используются данные только двух (а не трех) последовательных сессий, но в дополнение рассматривается величина  $X_\Delta(T_j)$  (7б), характеризующая знак относительного разрыва цены закрытия сессии  $T_j - 1$  и цены открытия сессии  $T_j$ .

По аналогии с числом (9) введем в рассмотрение число  $d_{i,j}^m(T)$ , взаимно однозначно характеризующее кортеж окна  $D_{i,j}^m(T)$ . Так, например, для кортежей окон  $D_{1,j}^3(T)$  и  $D_{3,j}^3(T)$  это число вычисляется следующим образом:

$$d_{1,j}^3(T) = \sum_{i=0}^2 X_\mu(T_j - i) 2^{2-i} = 4X_\mu(T_j) + 2X_\mu(T_j - 1) + X_\mu(T_j - 2), \quad (10)$$

$$d_{3,j}^3(T) = 4X_\mu(T_j) + 2X_\Delta(T_j - 1) + X_\mu(T_j - 2). \quad (11)$$

## 2. СТРУКТУРНО-ГРАФОВАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ФИНАНСОВОГО РЫНКА

Числа  $d_{i,j}^m(T)$  могут принимать  $2^m$  значений в диапазоне от 0 (все двоичные переменные равны 0) до  $2^m - 1$  (все двоичные переменные равны 1). Ввиду взаимно однозначного соответствия чисел (10), (11) набору значений двоичных переменных в кортеже соответствующего окна, отражающего реальную структуру состояний финансового рынка в конкретный момент времени, можно провести статистический анализ частот появления различных состояний рынка, т. е. значений чисел  $d_{i,j}^m(T)$ , а также частот переходов из одного состояния в другое (при сдвиге окна на единицу). Последние данные позволяют строить структурные прогнозные модели поведения финансовых рынков.

Для формализации такой содержательной модели введем в рассмотрение оргграф  $\Gamma$  с  $2^m$  вершинами. Каждая вершина  $d_i$  оргграфа  $\Gamma$  соответствует некоторому типу структуры или состоянию рынка (номер которого соответствует обозначению (номеру)  $d_i$  этой вершины). Номер типа структуры (а значит и номер вершины) — это целое число от 0 до  $2^m - 1$ , оно определяется конкретным значением  $d_{i,j}^m(T)$ , а значит и конкретным видом кортежа  $D_{i,j}^m(T)$  (ввиду их взаимно однозначного соответствия). Вершина  $d_i$  соединена с вершиной  $d_j$  графа  $\Gamma$  ориентированной дугой  $d_{ij}$ . Дуге  $d_{ij}$  припишем вес  $\alpha_{ij}$ , равный частоте перехода из вершины (состояния)  $d_i$  в вершину  $d_j$ . Из содержательных соображений следует, что, как правило,  $\alpha_{ij} \neq \alpha_{ji}$ . Величины  $\alpha_{ij}$  являются оценками соответствующих вероятностей переходов  $p_{ij}$ , а матрица смежности оргграфа  $A = \|\alpha_{ij}\|$  оценкой матрицы переходных вероятностей  $P = \|p_{ij}\|$ . Очевидно, что для целей прогнозирования оценки  $\alpha_{ij}$  можно получать только на периодах стационарного изменения показателей финансового рынка. Оценка стационарности (а точнее, квазистационарности) конкретного периода представляет собой достаточно сложную математическую задачу, поэтому в реальности решение принимается на базе экспертных мнений профессионалов-аналитиков.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ

Разработанная структурно-графовая модель оценки и прогнозирования состояния финансового рынка была использована для анализа котировок как обыкновенных акций «Газпрома» (GAZP), так и котировок фьючерсных контрактов на индекс РТС (RTS-6-11). Методика была проверена для различных периодов, длины выборки, типа исходного выборочного ряда и торговых площадок (табл. 1). Во всех расчетах использовалось окно длины 3 ( $m = 3$ ).

В качестве примера в табл. 2 приведены элементы  $\alpha_{ij}$  матрицы  $A$  частот переходов, рассчитанных по данным, соответствующим строке 3 табл. 1.

Анализ табл. 2 дает следующие интересные результаты. Число не встречающихся переходов ( $\alpha_{ij} = 0$ ) равно 32, т. е. в половине всех теоретичес-

Таблица 1

#### Характеристики исходных данных для экспериментальных расчётов

№	Актив	Период	Длина выборки	Тип исходного ряда	Торговая площадка
1	GAZP	01—08.2006	236	$E_3(T)$	ММВБ
2	GAZP	01—08.2006	236	$E_1(T)$	ММВБ
3	GAZP	02—06.2011	340	$E_3(T)$	ММВБ
4	GAZP	02—06.2011	340	$E_1(T)$	ММВБ
5	RTS-6.11	09—14.06.2011	276	$E_3(T)$	РТС
6	RTS-6.11	09—14.06.2011	276	$E_1(T)$	РТС

Таблица 2

#### Матрица $A$ частот переходов для данных строки 3 табл. 1

$d_i$	$d_0$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$
$d_0$	0,13	0	<b>0,26</b>	0	0,24	0	<b>0,37</b>	0
$d_1$	<b>0,37</b>	0	<b>0,26</b>	0	0,11	0	<b>0,26</b>	0
$d_2$	0,23	0	<b>0,25</b>	0	<b>0,35</b>	0	0,17	0
$d_3$	<b>0,32</b>	0	<b>0,25</b>	0	0,2	0	0,23	0
$d_4$	0	0,18	0	<b>0,25</b>	0	<b>0,33</b>	0	0,24
$d_5$	0	0,18	0	<b>0,37</b>	0	0,17	0	<b>0,28</b>
$d_6$	0	0,18	0	0,24	0	<b>0,3</b>	0	<b>0,28</b>
$d_7$	0	<b>0,4</b>	0	0,19	0	0,20	0	0,21

Таблица 3

#### Набор состояний, переход в которые приводит к росту (или падению) котировок акций, а также оценки соответствующих вероятностей

$d_i$	$\Pi_+$	$\Pi_-$	$B_+$	$B_-$
$d_0$	$d_6, d_4$	$d_2, d_0$	<b>0,61</b>	0,39
$d_1$	$d_6, d_4$	$d_2, d_0$	0,37	<b>0,63</b>
$d_2$	$d_6, d_4$	$d_2, d_0$	0,52	0,48
$d_3$	$d_6, d_4$	$d_2, d_0$	0,43	<b>0,57</b>
$d_4$	$d_7, d_5$	$d_3, d_1$	<b>0,57</b>	0,43
$d_5$	$d_7, d_5$	$d_3, d_1$	0,45	0,55
$d_6$	$d_7, d_5$	$d_3, d_1$	<b>0,58</b>	0,42
$d_7$	$d_7, d_5$	$d_3, d_1$	0,41	<b>0,59</b>

ки возможных переходов. Подавляющее число не нулевых частот переходов значимо выше значения вероятности для равновероятных переходов (0,125). Более того, частоты 16-ти переходов (1/4 общего числа переходов) не менее чем в 2 раза превосходят значение вероятности для равновероятных переходов (отмечены жирным шрифтом в табл. 2), а 8 переходов имеют значение оценки переходной вероятности не менее 0,3. Все это говорит о существенной структурированности состояний анализируемого финансового рынка и благоприятной возможности для использования представления исходных данных и структурно-графовой модели, предложенных в настоящей работе, для прогнозирования состояния анализируемого рынка.

Специфика финансовых рынков состоит в том, что наибольший интерес представляет прогноз не конкретного состояния рынка, а совокупности состояний, приводящих к росту (или падению) рынка.

В табл. 3, на основании анализа данных, представленных в табл. 2, для каждого состояния рынка (вершины графа  $\Gamma$ )  $d_i$  показан набор состояний, переход в которые приводит к росту котировок ( $\Pi_+$ ) или к их падению ( $\Pi_-$ ), а также даны оценки суммарных вероятностей таких переходов (соответственно  $B_+$  или  $B_-$ ).

Из табл. 3 видно, что для некоторых состояний рост или падение котировочной цены значимо отличаются от равновероятного значения (0,5), в табл. 3 они помечены жирным шрифтом. Так, например, для состояния  $d_0$  оценка вероятности перехода в состояния с ростом цены ( $d_6, d_4$ ) равна 0,61, а для состояния  $d_1$  оценка вероятности перехода в



состояния с падением цены ( $d_2, d_0$ ) равна 0,63. Эти значения позволяют выбрать стратегию поведения на торгах, обеспечивающую на длительных периодах достаточно ощутимый выигрыш.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлена новая методика анализа и прогнозирования состояния фондового рынка, базирующаяся на структурно-графовой модели рынка. Основа модели — оргграф, каждая вершина которого — это одно из возможных состояний фондового рынка, а взвешенные дуги отражают переход фондового рынка из одного состояния в другое. Вес дуги отражает меру «возможности» такого перехода. Для того чтобы такая модель хорошо работала как для анализа, так и для прогнозирования динамики фондового рынка, необходимо определить параметры, достаточно информативные в смысле описания текущего состояния рынка. В работе введен набор параметров, достаточно простых, но информативных для характеристики состояния рынка. Его основу составляют кортежи двоичных переменных, позволяющие преобразовать исходный временной ряд выборочных значений исследуемого показателя (относительное изменение котировочной цены акции или значение относительного разрыва стоимости акции) в существенно более простой ряд, каждый элемент которого равен 1, если в данный момент времени происходит рост показателя, и равен 0 — в противном случае (значение показателя уменьшилось или осталось неизменным).

Проведенные экспериментальные расчеты на реальных данных торгов на ММВБ и РТС подтвердили эффективность структурно-графовой модели и введенного набора показателей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Стохастический анализ (на примере Форекс). — URL: <http://www.market-pages.ru/foreks/16.html> (дата обращения).
2. Дорофеюк Ю.А., Бауман Е.В., Дорофеюк А.А. Методы структурно-классификационного анализа, базирующиеся на процедурах стохастической аппроксимации // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2008). Тр. Второй междунар. конф. / ИПУ РАН. — М., 2008. — С. 192—200.
3. Дорофеюк Ю.А., Кулькова Г.В. Глобально-оптимальные алгоритмы кластерного анализа временных рядов // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2010): Материалы Четвертой междунар. конф. / ИПУ РАН. — М., 2010. — Т. II. — С. 254—257.
4. Петерс Э. Хаос и порядок на рынке капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка. — М.: Мир, 2000. — 333 с.
5. Клепарский В.Г., Ефремов В.А. Мультифрактальность, диссипация и устойчивость среднесрочных трендов на фондовом рынке / Проблемы управления. — 2003. — № 4. — С. 36—38.
6. Максимов В.И., Корноушенко Е.К. Аналитические основы построения графовых и компьютерных моделей для сложных ситуаций // Новая парадигма развития России (комплексное исследование проблем устойчивого развития) / Под ред. В.А. Коптюга, В.М. Матросова, В.К. Левашова. — М.: Академия, 1999. — С. 447—450.
7. Дорофеюк А.А., Дорофеюк Ю.А., Чернявский А.Л. Алгоритмы построения когнитивно-экспертной классификации // Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2009): Тр. Междунар. конф. / ИПУ РАН. — М., 2009. — С. 109—112.
8. Гребенюк Е.А., Корноушенко Е.К., Максимов В.И. Когнитивно-рефлексивный анализ на фондовом рынке // Тез. докл. междунар. симпозиума «Рефлексивное управление», Москва, 2000 г. — М.: Институт психологии РАН, 2000. — С. 99—100.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.С. Манделем.

Спиро Арнольд Григорьевич — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ☎ (495) 334-90-70, ✉ spiro@ipu.ru,

Дорофеюк Юлия Александровна — науч. сотрудник, ☎ (495) 334-75-40, ✉ tigress86@bk.ru,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва.

### Читайте в следующем номере

#### ✓ Словохотов Ю.Л. Физика и социофизика

Представлен систематический обзор зарубежных и российских работ по социофизике — новому научному направлению, изучающему социальные явления методами теоретической и экспериментальной физики. Перечислены и кратко рассмотрены основные области пересечения физики с общественными дисциплинами: влияние климата и солнечной активности на исторические события, теоретическое моделирование исторических и демографических процессов, моделирование автомобильного трафика и других систем «мотивированных» частиц, дискретные состояния и спонтанные переходы в таких системах (crowd control), структура и динамика сетей социальных взаимодействий, физическое описание экономики (эконофизика), моделирование языковых и культурных изменений в обществе, физическая политология. Рассмотрены особенности мезоскопических мультиагентных систем, характерных для социофизики, степень применимости к ним формализма статистической физики и эмпирически наблюдаемые параллели их поведения с процессами в «неживых» системах.

