

УДК 330.47

## ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ГРАФА ДОХОДНОСТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ФОНДОВОГО РЫНКА

© 2013 г.

*А.Н. Визгунов<sup>1</sup>, Ю.В. Трифонов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>НИУ «Высшая школа экономики», Нижегородский филиал

<sup>2</sup>Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

anvizgunov@hse.ru

*Поступила в редакцию 05.11.2013*

Представлены результаты анализа акций, торгуемых на бирже ММВБ, за 2007–2011 годы. Использована модель в виде графа, вершины которого представляют собой ценные бумаги, обращающиеся на рынке, а ребра проведены в том случае, если значение меры близости ценных бумаг превышает заданный порог. В качестве меры близости авторами предлагается использовать количество периодов, когда доходности рассматриваемых ценных бумаг с учетом инфляции были одновременно положительными. Проведенный анализ показал, что модель графа рынка с предложенной мерой близости адекватно описывает поведение ценных бумаг на рынке и может быть использована для компактного и точного описания существующих на рынке тенденций.

*Ключевые слова:* граф рынка, фондовый рынок России, максимальная клика.

### **Введение**

Современные фондовые рынки генерируют огромное количество информации, анализ которой невозможен без применения технологий моделирования. Одной из успешно применяющихся моделей фондового рынка является представление рынка в виде графа, вершинами которого являются акции, торгуемые на бирже, а вес ребра определяет степень зависимости двух акций друг от друга [1–3]. Для измерения степени зависимости могут использоваться разные характеристики [4], но наиболее распространенным способом выбора меры зависимости является рассмотрение попарных корреляций между доходностями рассматриваемых ценных бумаг [1–3]. Построенный таким образом граф является моделью рассматриваемого фондового рынка, и его характеристики и их динамика могут быть использованы для описания тенденций развития фондового рынка.

Совокупность характеристик графа, представляющего фондовый рынок, может помочь инвестору оценить состояние рынка и выбрать подходящий момент для принятия решения об изменении состава портфеля ценных бумаг. Несмотря на наличие большого количества консультантов по инвестициям и финансовых аналитиков, задача выбора объекта инвестиций и момента вхождения на рынок часто решается непосредственно инвестором, особенно в том случае, если объем инвестиций относительно небольшой и привлечение к анализу специалистов фондового рынка является экономически

нецелесообразным. В этом случае для принятия решения о покупке акций инвестор анализирует общедоступную информацию, представляя ее в удобном для анализа виде.

Наиболее распространенной характеристикой, позволяющей в компактной форме получить информацию о текущем состоянии и динамике фондового рынка, является индекс и его изменение с течением времени. Простота анализа рынка с помощью рассмотрения индекса нивелируется малой информативностью такого анализа. В первую очередь к недостаткам индексов рынка относится рассмотрение только части обращающихся на рынке ценных бумаг, а также рассмотрение тренда изменения доходностей обращающихся ценных бумаг без учета того, насколько большое количество ценных бумаг изменяется однонаправленно. Другим недостатком индекса является отсутствие прямой связи между ростом индекса и реальной, с учетом инфляции, доходностью ценных бумаг, входящих в индекс. Если рассмотреть ситуацию высокой инфляции, то рост индекса может означать вовсе не реальный доход инвестора, а его убыток.

Для преодоления недостатков анализа рынка акций с помощью значений индекса, авторами предлагается дополнительно к значению индексов рассматривать характеристики графа фондового рынка, построенного таким образом, чтобы учесть инфляцию при расчете доходности акций, а также учесть, насколько часто доходности ценных бумаг изменяются однонаправленно в рамках рассматриваемого временного интервала.

## 1. Представление фондового рынка в виде графа доходностей

Сложившаяся практика анализа фондового рынка инвестором, принимающим решения об инвестировании самостоятельно, без дорогостоящих консультаций с финансовыми аналитиками, предполагает рассмотрение динамики ряда характеристик, которые отражают основные тенденции, сложившиеся на рынке. К таким инструментам относятся агрегаторы новостей об эмитентах и о событиях в экономике, так или иначе влияющих на финансовые рынки, индексы бирж, списки наиболее выросших и наиболее снизившихся акций, а также, в случае наличия у инвестора достаточного времени на подробный технический анализ, всевозможные индикаторы рынка. Основным недостатком рассмотренных средств является то, что либо они включают в себя большой объем неструктурированной информации (как агрегаторы новостей), что не позволяет проводить анализ за короткое время, либо включают только ограниченный набор информации, игнорируя всю остальную (индексы биржи). Хотя состав индекса пересматривается на регулярной основе, что позволяет поддерживать самые важные для рынка акции в составе базы индекса, индекс все равно отражает события, происходящие только с рядом акций. С другой стороны, компактность и наглядность представления биржевой информации в виде изменений индекса биржи или отраслевых индексов позволяет получить очень быстро представление об основных тенденциях движения цен на рынке.

Применение графового представления фондового рынка позволяет предложить дополнительные характеристики, которые в сочетании со значением изменения индекса в компактном виде характеризуют рынок и могут помочь принять взвешенное решение об инвестировании.

Для представления фондового рынка в виде графа и получения характеристик графа, которые в совокупности со значениями индексов предлагается использовать для анализа рынка, мы используем модель рыночного графа, предложенную в работах [1–3] с некоторыми модификациями.

В соответствии с подходом, предложенным в работах [1–3], сеть фондового рынка строится исходя из попарных коэффициентов корреляции Пирсона между доходностями рассматриваемых ценных бумаг. Полученная матрица рассматривается как матрица смежности взвешенного графа. Так как по главной диагонали построенной матрицы всегда стоят единицы, то построенный граф содержит петли, которые мы

убираем из рассмотрения. В целях получения компактных характеристик графа исходя из дополнительных данных модели выбирается порог, который используется для перехода к невзвешенному графу. В невзвешенном графе остаются только те ребра, вес которых больше выбранного порога. Далее в графе рассчитываются максимальные клики, размер и состав которых является значимой характеристикой.

Рассматриваемая методика получила широкое распространение. В частности, с использованием этой методики были проанализированы и получены интересные содержательные результаты для фондовых рынков различных стран мира – США [1–3], Швеции [5], Китая [6], России [7, 8], проведен сравнительный анализ рынков стран БРИК [9], рассмотрено влияние процесса глобализации на фондовый рынок России [10]. Также был предложен ряд модификаций методики, в частности, использование других мер близости [4].

С нашей точки зрения, для решения поставленной в статье задачи можно использовать модель рыночного графа с измененной мерой близости акций. Рассмотрим недостатки использования коэффициентов корреляции в качестве меры близости акций при решении нашей задачи.

При использовании корреляции Пирсона в максимальную клику могут войти акции, доходности которых изменялись согласованно, но не были положительными с учетом инфляции. Инвесторов в первую очередь интересуют доходные акции. Построение и исследование графа рынка с использованием корреляции Пирсона позволяет оценить возможности по диверсификации портфеля инвестиций, по управлению рисками, но не включает информацию по итоговой доходности ценных бумаг.

Для каждой страны получается свое среднее значение коэффициента корреляции, что делает невозможным «справедливый» выбор порога при переходе к невзвешенному графу – порог должен быть разным для разных стран.

При оценке корреляций Пирсона для совокупности ценных бумаг, мы должны учитывать не только корреляции между доходностями двух ценных бумаг, но и зависимости, возникающие при анализе совокупности. Это приводит к необходимости иметь увеличивающееся количество наблюдений при добавлении к анализу большого количества акций, что, в свою очередь, делает невозможным анализ всего рынка, состоящего из нескольких тысяч ценных бумаг, для коротких промежутков времени. В то же время рынок может меняться очень интенсивно, и рассмотрение больших промежутков

Таблица 1  
Характеристики рассматриваемых  
временных периодов

№ периода	Начало	Конец
1	01.01.2007	16.12.2007
2	21.05.2007	04.05.2008
3	08.10.2007	21.09.2008
4	25.02.2008	08.02.2009
5	14.07.2008	28.06.2009
6	01.12.2008	15.11.2009
7	20.04.2009	04.04.2010
8	07.09.2009	22.08.2010
9	25.01.2010	09.01.2011
10	14.06.2010	29.05.2011
11	01.11.2010	16.10.2011

времени является нецелесообразным. Также нужно учесть, что дневные изменения доходностей могут иметь высокую волатильность, а также то, что инвестиции в акции редко производятся на срок в один день. Это вынуждает перейти к другой временной шкале, например шкале недель, что, в свою очередь уменьшает количество наблюдений и ухудшает качество оценки корреляций.

Для преодоления вышеприведенных недостатков нами предлагается использовать иную меру близости акций. Для каждой недели рассматриваемого периода формируется список акций, доходность которых за рассматриваемый день превысила уровень инфляции. Можно говорить, что для каждой недели формируется граф, вершины которого представляют собой акции, а ребра проведены между всеми акциями, которые показали доходность выше инфляции, связей между остальными вершинами нет. При формировании графа за длительный период, например за год, вершины остаются те же, что были у недельных графов, проводятся все возможные ребра, каждому ребру приписывается вес, который равняется количеству недель, в которых это ребро присутствовало в графах одной недели.

Вместо недели можно выбрать другой единичный интервал, например, месяц или день. Уровень инфляции обычно подсчитывается для месяца; с другой стороны, цены фиксируются каждый день, неделя представляет собой хороший компромисс, значение за неделю как часть месяца будет хорошей моделью для недельного уровня инфляции, а цены не будут сильно изменяться.

Использование предлагаемой меры близости позволяет избавиться от всех недостатков, описанных выше. Мера близости учитывает ре-

альные доходности акций, подсчет значения данной меры близости возможен как для акций одной страны, так и для акций разных стран, что, в свою очередь, позволяет построить единый граф для рынков нескольких стран. Значение меры близости является точным, а не оценочным, что позволяет рассчитывать его для любого количества акций для любых интервалов времени.

Модель графа рынка с предложенной мерой близости акций мы будем называть графом доходностей, чтобы подчеркнуть отличие предлагаемой нами модели от исходной.

## 2. Модельные данные

В качестве модельных данных мы рассматриваем информацию о торгах акциями на Московской межбанковской валютной бирже с 2007 по 2011 год. Для отслеживания динамики изменения характеристик графа период наблюдений разбит на 11 пересекающихся периодов по 50 недель. Длительность пересечения периодов составляет 20 недель. Поскольку последний период, заканчивающийся в декабре 2011 года, состоит из 40 недель вместо 50, а длительность периода влияет существенным образом на веса ребер получающегося графа, мы исключаем его из рассмотрения. Даты начала и конца рассматриваемых периодов приведены в таблице 1.

Поскольку необходимо обеспечить сравнимость характеристик получающихся графов за разные периоды наблюдений, мы рассматриваем только такие акции, торги по которым проводились во все рассматриваемые периоды. Вторым условием включения акции в рассмотрение является большая значимость эмитента акции для экономики России. В качестве критерия значимости эмитента используется капитализация компании. Таким образом для анализа были отобраны 150 акций, торгующихся на ММВБ с 2007 по 2011 год, принадлежащих крупным предприятиям России.

Единицей рассмотрения изменения цены акции является календарная неделя. В наиболее простом случае рассматривалась доходность, которая фиксировалась по последней сделке пятницы по сравнению с последней сделкой пятницы предыдущей недели. В случае если торги проводились не во все будние дни недели, в качестве цены закрытия календарной недели рассматривалась цена последней сделки последнего торгового дня недели. Несмотря на то что отобранные акции являются наиболее ликвидными акциями фондового рынка России, в ряд торговых дней и даже недель сделок не было зафиксировано. В этом случае данные были

Таблица 2

**Результаты расчета максимальных клик (порог 10)**

№ периода	Размер макс. клики	Число макс. клик	Размер объединения макс. клик
1	48	20	55
2	38	12	44
3	32	8	36
4	23	1	23
5	69	44	76
6	109	2	110
7	117	84	127
8	118	12	122
9	101	40	107
10	74	186	85
11	64	106	89
12	30	11	36

Таблица 3

**Результаты расчета максимальных клик (порог 20)**

№ периода	Размер макс. клики	Число макс. клик	Размер объединения макс. клик
1	7	4	10
2	4	8	12
3	4	1	4
4	1	150	150
5	3	2	4
6	27	8	35
7	31	4	36
8	12	12	18
9	13	3	15
10	6	1	6
11	10	1	10
12	2	1	2

сглажены – считалось, что при отсутствии реальных сделок цена акции остается неизменной.

Для расчета инфляции за неделю брались данные официальной статистики по инфляции за месяц и считалась инфляция за каждый день месяца в предположении, что инфляция одинакова в каждый день месяца. Для рассматриваемой недели инфляция считалась как сумма инфляций по дням, составляющим неделю. Таким образом для каждой недели для каждой акции было определено, является ли доходность выше уровня инфляции.

### 3. Результаты анализа с использованием графа доходностей

Получившиеся в результате вычислений данные были использованы для построения сетевой модели, а затем графа доходностей в соответствии с алгоритмом, описанным в разделе 1. При переходе от взвешенного графа к невзвешенному были использованы значения порогов от 1 (из рассматриваемых 50 недель хотя бы в одну неделю акции были доходными одновременно) до 50 (акции были доходны на протяжении всего рассмотренного периода). Применен-

ные значения порогов близких к 1 и близких к 50 дают слишком плотные и слишком разреженные графы соответственно. Наиболее интересные результаты получаются при применении порогов от 10 до 20. Помимо расчета размера максимальной клики рассчитывалось значение числа максимальных клик в получившемся графе и число разных акций, вошедших в какую-либо максимальную клику. Результаты вычислений для порогов равных 10 и 20 приведены в таблице 2 и 3.

Данные, представленные в таблицах 2 и 3, показывают похожую тенденцию по изменению наблюдаемых характеристик. Для периодов, относящихся к кризису 2008 года, размер максимальной клики остается на невысоком уровне, это показывает, что малое количество акций приносили доход инвесторам. Периоды после кризиса, наоборот, характеризуются высокой степенью совместной доходности – после падения цен на акции в период кризиса доходность вложений на растущем после кризиса рынке была высокой. Выводы о падении и росте доходности вложений в акции можно сделать и по изменению значения индекса, но предложенная нами характеристика позволяет сказать не толь-

ко о росте некоторых акций, но и учесть, насколько этот рост поддерживался всеми рассматриваемыми акциями. В периоды с 10-го по 12-й наблюдается падение степени зависимости рынка – меньшее количество акций дают одно-временный доход за эти периоды.

Анализ дополнительно вычисленных характеристик – числа максимальных клик и размера объединения максимальных клик позволяет сделать аналогичные выводы. В годы кризиса значение сокращается, в послекризисный период значение становится высоким, в периоды 10–12 значение уменьшается, но остается выше, чем оно было в кризис. Значение размера объединения максимальных клик, равное числу вершин в период 4 для порога 20, не является значимым, так как в этом случае в графе просто нет ребер и смысл максимальной клики как совокупности связанных акций теряется.

### Заключение

Представленные в статье результаты расчетов характеристик максимальных клик графа доходностей позволяют сделать предположение о полезности построенной модификации модели графа рынка. Полученные значения показателей в совокупности с значениями биржевых индексов позволяют получить компактное и точное описание происходящих на фондовом рынке процессов.

### Список литературы

1. Boginski V., Butenko S. and Pardalos P.M. Mining market data: A network approach. *Computers & Operations Research*. 2006. P. 3171–3184.
2. Boginski V., Butenko S. and Pardalos P.M. On structural properties of the market graph. A. Nagurney,

ed. *Innovations in financial and economic networks*. Edward Elgar Publishing. 2003. P. 29–45.

3. Boginski V., Butenko S. and Pardalos P.M. Statistical analysis of financial networks. *Computational statistics & data analysis*. 2005. V. 48. P. 431–443.

4. Kalyagin V.A., Koldanov A.P., Koldanov P., Pardalos P.M., Bautin G.A. Simple measure of similarity for the market graph construction. *Computational Management Science*. 2013. V. 10. № 2–3. P. 105–124.

5. Jallo D., Budai D., Boginski V., Goldengorin B., Pardalos P.M. Network-Based Representation of Stock Market Dynamics: An Application to American and Swedish Stock Markets. In *Models, Algorithms, and Technologies for Network Analysis* (Goldengorin B.; Kalyagin V., Pardalos P. Editors.), Springer Proceedings in Mathematics & Statistics. 2012. V. 32. P. 91–98.

6. Huang W-Q, Zhuang X-T, Shuang Y. A network analysis of the Chinese stock market. *Physica A*, 2009. 388. P. 2956–2964.

7. Vizgunov A., Goldengorin B., Kalyagin V., Koldanov A., Koldanov P., Pardalos P.M. Network approach for the Russian stock market. *Computational Management Science*, DOI: 10.1007/s10287-013-0165-7, 2013.

8. Визгунов А.Н., Гольденгорин Б.И., Замараев В.А., Калягин В.А., Колданов А.П., Колданов П.А., Пардалос П.М. Применение рыночных графов к анализу фондового рынка // *Журнал новой экономической ассоциации*. 2012. № 3. С. 66–81.

9. Vizgunov A., Glotov A., Pardalos P.M. Comparative analysis of the BRIC countries stock markets using network approach, in: *Models, Algorithms, and Technologies for Network Analysis*, Editors: B.I. Goldengorin, V.A. Kalyagin, P.M. Pardalos. Issue 59: Springer Proceedings in Mathematics & Statistics. NY: Springer. 2013. № 12. P. 191–201.

10. Визгунов А.Н. Исследование процесса глобализации на фондовом рынке России с использованием теории графов. *Вестник Воронежского государственного университета*. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2013. № 1. С. 119–125.

## STOCK MARKET ANALYSIS USING A RETURNS GRAPH MODEL

*A.N. Vizgunov, Yu.V. Trifonov*

The paper presents an analysis of the stocks traded on MICEX from 2007 to 2011. In order to analyze the data, we construct a market graph model. The vertices of the graph represent stocks; the edges represent strong similarity between considered stocks returns. We suggest using the following way to calculate the similarity measure: we calculate the number of the periods when two considered stocks have the positive return simultaneously. Our results show that the market graph model with the suggested similarity measure can be used to describe the stock market dynamics in an efficient and concise manner.

*Keywords:* market graph, Russian stock market, maximum clique.