

А.Н. Визгунов

НИУ ВШЭ, Нижегородский филиал, Нижний Новгород

Б.И. Гольденгорин

НИУ ВШЭ, Москва

В.А. Замараев

НИУ ВШЭ, Москва

В.А. Калягин

НИУ ВШЭ, Нижегородский филиал, Нижний Новгород

А.П. Колданов

НИУ ВШЭ, Нижегородский филиал, Нижний Новгород

П.А. Колданов

НИУ ВШЭ, Нижегородский филиал, Нижний Новгород

П.М. Пардалос

НИУ ВШЭ, Москва

Применение рыночных графов к анализу фондового рынка России¹

В работе исследуется структура фондового рынка России на основе анализа рыночного графа. Найдены распределения корреляций ценных бумаг, плотность ребер рыночного графа, размеры и составы максимальных клик и независимых множеств. Показано, как результаты зависят от изменения временного интервала анализа.

Ключевые слова: *фондовый рынок; доходность акции; коэффициент корреляции; граф рынка; клика; независимое множество.*

Классификация JEL: C02.

Введение

Анализ фондового рынка на базе математических моделей привлекает внимание специалистов, начиная с классической работы (Markowitz, 1952). Развитые на этой базе модели успешно применяются для построения портфелей инвестиций (Шарп, Александер, Бейли, 1998; Tumminello et al., 2007, 2010; Kim, Lee, Kahng et al., 2002; Onnela, Kaski, Kertesz, 2004). Важным элементом подобных моделей является анализ совместного поведения ценных бумаг, основанный, как правило, на анализе их попарных корреляций. Вместе с тем, как показано в (Mantegna 1999; Mantegna, Stanley, 2000), фондовый рынок можно рассматривать как сложную систему или сеть, в которой ценные бумаги представляются узлами сети, а взаимодействие между узлами определяется соответствующими корреляциями. В качестве структурных характеристик сети исследуются минимальный каркас (minimum-cost spanning tree) (Mantegna, Stanley, 2000), максимальный плоский отфильтрованный граф (planar maximal filtering graph) (Tumminello et al., 2005) и т.п.

В работе (Boginski, Butenko, Pardalos, 2003) был предложен подход к поиску и анализу структурных характеристик фондового

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Лаборатории алгоритмов и технологий анализа сетевых структур НИУ ВШЭ (грант правительства РФ № 11.G34.31.0057).

рынка, основанный на изучении *графа рынка*, или рыночного графа (market graph). Каждая ценная бумага интерпретируется как одна вершина графа. Две вершины соединяются ребром, если коэффициент корреляции доходностей (или других характеристик) ценных бумаг превышает заданное пороговое значение. В этом случае структурные характеристики графа можно интерпретировать как структурные характеристики фондового рынка. Так, например, любая клика (полный подграф) графа соответствует группе ценных бумаг с высокой степенью зависимости для значений коэффициентов корреляции близких к единице. Независимому множеству графа соответствует группа ценных бумаг, из которых может быть сформирован диверсифицированный портфель. Изменение (во времени) содержания таких групп характеризует глобальные (макроэкономические) тенденции развития рынка. Предложенный метод успешно применен для анализа рынка США (Boginski, Butenko, Pardalos, 2005, 2006). В работе (Huang, Zhuang, Shuang, 2009) показано, что данная модель может быть применена для анализа фондового рынка Китая.

В настоящей работе приведены первые результаты исследования рыночного графа Московской межбанковской валютной биржи (ММВБ). Эти результаты получены на основе применения подхода, развитого в работах (Boginski, Butenko, Pardalos, 2003, 2005, 2006).

Статья имеет следующую структуру. В разд. 1 приведены основные понятия и описана схема построения рыночного графа. В разд. 2 исследованы распределения корреляций ценных бумаг, плотность ребер рыночного графа, размеры и состав максимальных клик и независимых множеств. В разд. 3 приведены результаты исследования изменений найденных характеристик (распределение корреляций, плотность рыночного графа, максимальные клики и независимые множества) для различных временных интервалов анализа. В разд. 2, 3 приведены также результаты сравнения характеристик российского рынка и рынка США, полученные в работах (Boginski, Butenko, Pardalos, 2005, 2006).

1. Основные понятия. Схема построения графа рынка

Пусть $G = (V, E)$ произвольный неориентированный граф, где $V = \{1, \dots, N\}$ – множество вершин, а $E \subseteq V \times V$ – множество ребер. Две различные вершины графа u и v называются *смежными*, если они соединены ребром, т.е. $(u, v) \in E$. Множество попарно несмежных вершин графа называется *независимым*. Независимое множество называется *максимальным*, если оно содержит наибольшее количество вершин, которое называется *числом независимости* графа и обозначается через $\alpha(G)$.

Множество вершин графа, каждые две из которых смежные, называется *кликой* этого графа. Другими словами, клика графа – это множество вершин, которые порождают полный подграф (Харари,

1973). Клика называется *максимальной*, если она содержит наибольшее число вершин, которое называется *кликковым числом* графа и обозначается через $\omega(G)$. Задача о максимальной клике состоит в нахождении клики наибольшего размера. Нетрудно увидеть, что задача о независимом множестве преобразуется в задачу о клике и наоборот простым переходом от графа G к дополнительному графу \bar{G} , так что $\alpha(G) = \omega(\bar{G})$.

Важной характеристикой графа является плотность ребер, которая определяется как число ребер данного графа $|E|$, деленное на общее число всех возможных ребер: $|E|/[N(N-1)/2]$, где N – число вершин графа G . Плотность ребер графа изменяется от 0 до 1. Граф со всеми изолированными вершинами имеет плотность ребер 0, а полный граф – плотность 1.

Для построения графа рынка используем стандартные характеристики финансовых активов. Пусть $P_i(t)$ – цена финансового актива i , $i = 1, \dots, N$, в день t , $t = 1, \dots, n$. Будем считать, что

$$R_i(t) = \ln(P_i(t)/P_i(t-1)) \quad (1)$$

определяет доходность ценной бумаги i за период, равный одному дню.

Обозначим среднюю доходность ценной бумаги i за n дней

$$E(R_i) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n R_i(t).$$

Дисперсия доходности ценной бумаги i за n дней $\text{var}(R_i)$ рассчитывается по формуле $\text{var}(R_i) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (R_i(t) - E(R_i))^2$,

а коэффициент корреляции c_{ij} финансовых активов i и j –

$$c_{ij} = \frac{E(R_i R_j) - E(R_i)E(R_j)}{\sqrt{\text{var}(R_i)\text{var}(R_j)}} \quad (2)$$

в соответствии с работой (Mantegna, Stanley, 2000).

Исходной информацией для практического построения графа рынка являются данные о ценах акций. По этим данным находятся доходности по формуле (1). Затем за выбранный период времени по формуле (2) оцениваются коэффициенты корреляции между всеми парами доходностей выбранных акций, и формируется соответствующая корреляционная матрица. Такая матрица содержит информацию о структуре анализируемого рынка за выбранный период времени, в частности, распределение (гистограмма) элементов этой матрицы дает представление о том, как часто встречаются на рынке те или иные значения коэффициентов корреляции доходностей ценных бумаг.

Граф рынка строится по следующей схеме: каждой акции, торгуемой на фондовом рынке, соответствует вершина графа. Ребро, соединяющее вершины i и j ($i \neq j$), добавляется в граф рынка, если соответствующий коэффициент корреляции c_{ij} больше или равен выбранному пороговому значению $\theta \in [-1; 1]$.

Применительно к построенному графу рынка естественно интерпретировать независимое множество как группу акций, претендующих на включение в диверсифицированный портфель. Любая клика графа представляет группу сильно коррелированных между собой акций для значений коэффициентов корреляции близких к единице. Плотность ребер графа характеризует степень глобализации рынка.

2. Результаты анализа российского фондового рынка

В настоящей работе приведены результаты анализа за период с 20 октября 2008 г. по 25 октября 2010 г.; В качестве вершин графа взяты акции, торгующиеся на ММВБ.

Данные о ценах акций были взяты из открытого источника – сайта инвестиционной компании «Финам» (ММВБ акции, 2012). Среди акций ММВБ, о которых агентство «Финам» распространяет информацию, были выбраны те, которые торгуются на ММВБ в настоящий момент и по которым в течение рассматриваемых 500 торговых дней было не менее 400 торговых дней с заключенными сделками. В случае отсутствия сделок в конкретный торговый день считалось, что цена акции остается прежней. Если размещение акций происходило после начала рассматриваемого периода, то предполагалось, что цена акции в период, предшествующий размещению, была равна цене акции в день первых торгов. Кроме того, из рассмотрения были исключены акции компаний, которые проходили процедуры дополнительных выпусков, конвертаций, слияний и поглощений, которые влияли на наименование и стоимость ценных бумаг компании. В результате в качестве модельных данных для создания графа рынка были использованы котировки 151 акции эмитентов ($N = |V| = 15$), принадлежащих к различным отраслям экономики. Важным свойством рассматриваемых модельных данных является наличие в их составе как акций самых больших предприятий России, таких, как Газпром и Сбербанк, так и акций относительно небольших компаний, таких, как Челябинский цинковый завод и Заволжский моторный завод.

Для сравнительного анализа использовались результаты, приведенные в работе (Boginski, Butenko, Pardalos, 2005). В этой работе анализировался рынок США из 6456 акций в течение 500 последовательных торговых дней за период с 2000 по 2002 г. Так как с точки зре-

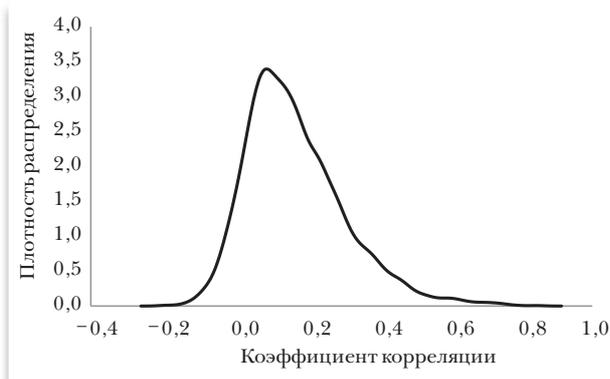


Рис. 1

Плотность распределения коэффициентов корреляции для российского рынка (период наблюдений – два года)

На графике по оси абсцисс откладывается значение коэффициента корреляции c_{ij} , а по оси ординат – значения плотности распределения коэффициента корреляции с учетом механизма сглаживания (для построения графика плотности использовался механизм сглаживания из работы (Bowman, Azzalini, 1997)). Отметим унимодальность (один ярко выраженный локальный максимум) и несимметричность распределения. При этом отрицательные значения коэффициентов корреляции встречаются относительно редко (менее 6%), что затрудняет формирование диверсифицированного портфеля из акций, доходности которых изменяются разнонаправленно. Более 60% значений коэффициентов корреляций находится в интервале $[0; 0,3]$. Среднее арифметическое значение коэффициентов корреляции c_{ij} равняется 0,172, а среднеквадратичное отклонение – 0,139.

Результаты анализа плотности распределения коэффициентов корреляции для рынка США показывают, что плотность также является унимодальной, но более симметричной. При этом отрицательные значения коэффициентов корреляции встречаются значительно чаще (около 15%). Более 60% значений коэффициентов корреляций находится в интервале $[-0,05; 0,15]$. Также можно отметить меньшее (0,03) среднее арифметическое значение коэффициентов корреляции c_{ij} . Это свидетельствует о более независимом характере рынка США и большей степени свободы при формировании диверсифицированного портфеля.

Плотность ребер графа определяется выбранным значением порога $\theta \in [-1; 1]$. График, иллюстрирующий эту зависимость, приведен на рис. 2.

По оси абсцисс отложено значение порога для коэффициента корреляции, по оси ординат – плотность ребер рыночного графа, соответствующего выбранному порогу. Отметим достаточно резкое изменение плотности в области $[0,1; 0,5]$ и, напротив, незначительное ее изменение в прилегающих интервалах, что позволяет при выделении

ния структурных характеристик рынок США можно считать достаточно стабильным, такое сравнение представляет интерес.

Плотность распределения коэффициентов корреляции c_{ij} для российского рынка за весь анализируемый период, т.е. за два года, приведена на рис. 1. При этом под плотностью понимается сглаженная гистограмма, построенная по результатам вычисления $151 \times 75 = 11\,325$ значений коэффициентов c_{ij} .

максимальных клик рассматривать значения порога из интервала $\theta \in [0,5; 1]$, а при выделении независимых множеств – значения порога из интервала $\theta \in [0; 0,1]$

Для поиска максимальной клики рыночного графа ММВБ при различных значениях порога использовался алгоритм из работы (Carragan, Pardalos, 1990). Этот алгоритм определяет размер максимальной клики (кликаемое число) и позволяет находить состав одной из максимальных клик. В табл. 1 приведены результаты поиска максимальных клик в рыночном графе ММВБ, построенном для различных значений корреляционного порога θ .

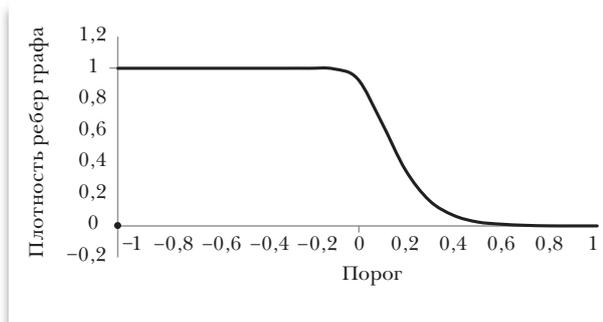


Рис. 2

Плотность ребер рыночного графа для российского рынка (период наблюдений – два года)

Таблица 1

Характеристики найденных максимальных клик

Порог	Плотность ребер	Число акций	Фирмы	Представленные отрасли
0,6	0,0109	10	Банк ВТБ (VTBR) Норильский Никель (GMKN) Газпром (GAZP) Газпром нефть (SIBN) Мобильные ТелеСистемы (MTSI) Лукойл (LKOH) Роснефть (ROSN) Сбербанк России (SBER*, SBERP**) Татнефть (TATN)	Нефть и газ – 5 Банк – 3 Телекоммуникации – 1 Цветная металлургия – 1
0,65	0,0062	7	Банк ВТБ (VTBR) Норильский Никель (GMKN) Газпром (GAZP) Лукойл (LKOH) Роснефть (ROSN) Сбербанк России (SBER*, SBERP**)	Нефть и газ – 3 Банк – 3 Цветная металлургия – 1
0,7	0,0038	5	Норильский Никель (GMKN) Газпром (GAZP) Лукойл (LKOH) Роснефть (ROSN) Сбербанк России (SBER*)	Нефть и газ – 3 Банк – 1 Цветная металлургия – 1
0,75	0,0011	3	Газпром (GAZP) Лукойл (LKOH) Роснефть (ROSN)	Нефть и газ – 3
0,8	0,00035	3	Газпром (GAZP) Лукойл (LKOH) Роснефть (ROSN)	Нефть и газ – 3

Окончание таблицы 1

Порог	Плотность ребер	Число акций	Фирмы	Представленные отрасли
0,85	0,00009	2	Газпром (GAZP) Роснефть (ROSN)	Нефть и газ – 2
0,9 и больше	0	1	Любая из фирм	–

* Обыкновенная акция.

** Привилегированная акция.

Сравнение рынков России с рынками США при значениях порога $\{0,6; 0,65; 0,7\}$ показывает, что размеры максимальных клик для рынка США в 4 раза больше, чем для рынка России, несмотря на то, что число эмитентов на рынке США, проанализированном в работе (Boginski, Butenko, Pardalos, 2005), в 40 раз больше числа эмитентов на рынке ММВБ, анализируемом в настоящей работе.

Для определения всех максимальных клик использовался алгоритм, предложенный в работе (Bron, Kerbosh, 1973). В табл. 2 приведены данные о числе максимальных клик и список акций, вошедших во все максимальные клики.

Из анализа общей части всех максимальных клик для различных значений порога следует, что максимальные клики графа рынка России определяются крупными компаниями нефтегазовой и банковской отраслей. В этом заключается существенное отличие фондового рынка России от фондового рынка США, где максимальные клики формируются по отраслевому принципу (Boginski, Butenko, Pardalos, 2006).

Для поиска максимального независимого множества применялся тот же алгоритм из работы (Carragan, Pardalos, 1990), примененный к дополнительному графу. Отметим, что для поиска максимального независимого множества выбирались значения порога, близкие к нулю, что естественно при выделении независимых (или противоположно ориентированных) активов. Результаты представлены в табл. 3.

Из анализа данных в табл. 3 следует, что размер диверсифицированного портфеля в зависимости от порога может колебаться в пределах до 20 акций. При этом для рынка России размер максимального независимого множества при пороге 0,05 равен 9, а для рынка США – 45. Акции, из которых может быть сформирован диверсифицированный портфель на рынке России, принадлежат энергетическим и промышленным предприятиям, не связанным непосредственно с нефтегазовой и банковской отраслями.

Таблица 2

Число максимальных клик и их пересечение

Порог	Кликовое число	Число максимальных клик	Число акций в пересечении всех максимальных клик	Фирмы, вошедшие во все максимальные клики
0,5	17	1	17	Акрон (AKRN) Банк ВТБ (VTBR) Норильский Никель (GMKN) Газпром (GAZP) Газпром нефть (SIBN) Мобильные ТелеСистемы (MTSI) Лукойл (LKOH) Роснефть (ROSN) Новолипецкий металлургический комбинат (NLMK) НОВАТЭК (NOTK) Сбербанк России (SBER*, SBERP**) Северсталь (CHMF) Сургутнефтегаз (SNGS*, SNGSP**) Татнефть (TATN*, TATNP**)
0,55	14	2	13	Банк ВТБ (VTBR) Норильский Никель (GMKN) Газпром (GAZP) Газпром нефть (SIBN) Мобильные ТелеСистемы (MTSS) Лукойл (LKOH) Роснефть (ROSN) Сбербанк России (SBER*, SBERP**) Северсталь (CHMF) Сургутнефтегаз (SNGS) Татнефть (TATN*, TATNP**)
0,6	10	3	7	Газпром (GAZP) Газпром нефть (SIBN) Мобильные ТелеСистемы (MTSI) Лукойл (LKOH) Роснефть (ROSN) Сбербанк России (SBER*) Татнефть (TATN)
0,65	7	5	3	Газпром (GAZP) Лукойл (LKOH) Роснефть (ROSN)
0,7	5	6	2	Газпром (GAZP) Роснефть (ROSN)
0,75	3	4	1	Газпром (GAZP)
0,8	3	1	3	Газпром (GAZP) Лукойл (LKOH) Роснефть (ROSN)
0,85	2	1	2	Газпром (GAZP) Роснефть (ROSN)
0,9 и больше	1	151	0	Любая акция

* Обыкновенная акция.

** Привилегированная акция.

Таблица 3
Максимальные диверсифицированные портфели

Порог	Плотность ребер	Число акций	Фирмы (акции)	Представленные отрасли
0,1	0,65898	17	АВТОВАЗ (AVAZP) Росбанк (ROSB) Волгоградский энергосбыткомп (VGSB) Заволжский моторный завод (ZMZN) Азот (AZKM) Красноярская ГЭС (KRSG) Красный Октябрь (KROT) Ленэнерго (LSNG) Московская городская телефонная сеть (MGTSP) Пермские моторы (PMOT) Приморское морское пароходство (PRIM) Росинтер Ресторантс Холдинг (ROST) Русполимет (RUSP) Свердловэнерго (SVSB*, SVSBP**) Тамбовская энергосбытовая компания (TASB) Челябэнерго (CLSB)	Электроэнергетика – 7 Машиностроение – 2 Автомобилестроение – 1 Банк – 1 Продукты питания и напитки – 1 Рестораны – 1 Телекоммуникации – 1 Транспорт – 1 Химия и нефтехимия – 1 Черная металлургия – 1
0,075	0,74817	12	Торговый дом ГУМ (GUMM) Заволжский моторный завод (ZMZN) Кировэнерго (KISB) Красный Октябрь (KROT) Межрегиональная распределительная сетевая компания Сибири (MRKS) Московская теплосетевая компания (MSSV) ОЭТБ (ODVA) Пермские моторы (PMOT) Свердловэнерго (SVSB*, SVSBP**) Синергия (SYNG) Челябэнерго (CLSB)	Электроэнергетика – 7 Машиностроение – 2 Медиа – 1 Продукты питания и напитки – 1 Розничная торговля – 1
0,05	0,8278	9	Кировэнерго (KISB) Красный Октябрь (KROT) Кубаньэнерго (KBSB) Ленэнерго (LSNGP) ОЭТБ (ODVA) Пермские моторы (PMOT) Территориальная генерирующая компания № 9 (TGKI) Тамбовская энергосбытовая компания (TASBP) Челябэнерго (CLSB)	Электроэнергетика – 6 Машиностроение – 1 Медиа – 1 Продукты питания и напитки – 1
0,025	0,8889	7	АВТОВАЗ (AVAZP) Кубаньэнерго (KBSB) Ленэнерго (LSNGP) Московская городская телефонная сеть (MGTSP) Пермские моторы (PMOT) Территориальная генерирующая компания № 11 (TGKK) Челябэнерго (CLSB)	Электроэнергетика – 4 Автомобилестроение – 1 Машиностроение – 1 Телекоммуникации – 1

* Обыкновенная акция.

** Привилегированная акция.

3. Результаты анализа фондового рынка ММВБ в динамике

Для изучения зависимости структурных свойств фондового рынка ММВБ от времени рассматриваемый период (два года) был разбит на четыре равных по числу торговых дней периода, для каждого из которых проведен анализ, аналогичный предыдущему. На рис. 3 приведены плотности распределения коэффициентов корреляций для каждого периода на российском рынке: период 1 – с 20 октября 2008 г. по 27 апреля 2009 г.; период 2 – с 28 апреля 2009 г. по 22 октября 2009 г.; период 3 – с 23 октября 2009 г. по 28 апреля 2010 г., период 4 – с 29 апреля 2010 г. по 25 октября 2010 г. В каждом периоде – 125 торговых дней.

Для сравнительного анализа использовались результаты, приведенные в работе (Boginski, Butenko, Pardalos, 2006). В этой работе авторы анализировали рынок США в течение 11 пересекающихся периодов по 500 последовательным торговым дням каждый за 1998–2002 гг. Среди этих периодов легко выделяются четыре непересекающихся.

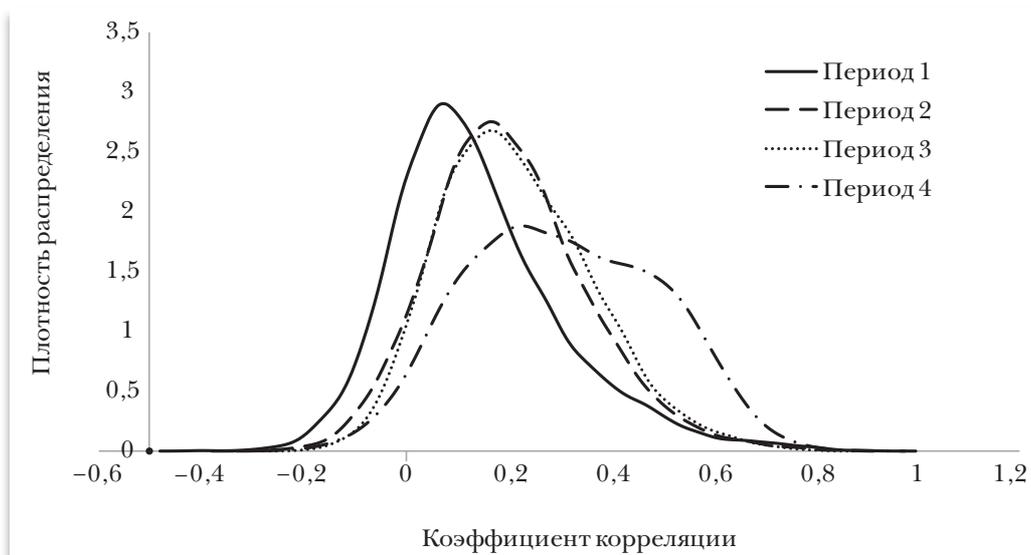


Рис. 3

Плотность распределения коэффициентов корреляций для российского рынка (периоды наблюдений – полгода)

Сравнение плотностей разных периодов показывает, что распределение первых трех периодов имеет похожую форму, распределение в четвертом периоде существенно отличается от трех предыдущих и от распределения на рис. 1. Одной из причин данного явления может быть возможная нестационарность, т.е. зависимость от сдвига по времени совместных распределений наблюдаемых случайных величин. Анализ этого явления авторы предполагают посвятить отдель-

ную работу. Отметим, что результаты исследования динамики рынка США, полученные в работе (Boginski, Butenko, Pardalos, 2006), не показывают существенного изменения характера плотности распределения коэффициентов корреляций для 11 рассмотренных периодов.

На рис. 4 приведены графики плотности ребер графа фондового рынка в зависимости от выбранного порога.

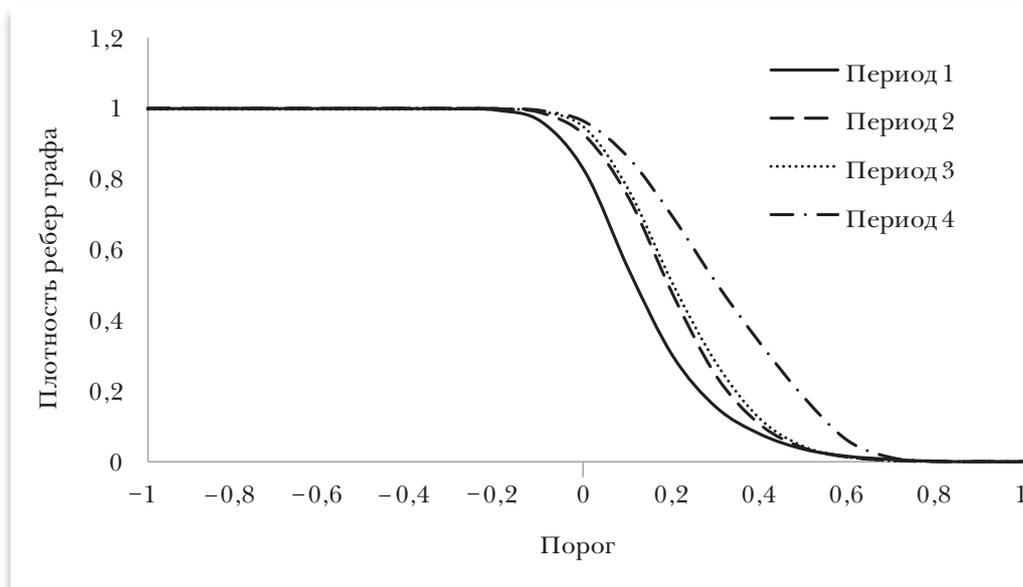


Рис. 4

*Плотность ребер рыночного графа для российского рынка
(периоды наблюдений – полгода)*

Из графиков видно, что и в этом случае выбор периода анализа существенно влияет на вид зависимости плотности ребер графа от порога. В частности, последний период существенно отличается от первого и результатов, полученных усреднением за два года. В последний из анализируемых периодов рынок стал более зависимым. Последнее обстоятельство, естественно, сказалось на результатах выделения максимальных клик и независимых множеств. В табл. 4 приведена динамика изменения размера максимальной клики в зависимости от периода анализа для различных значений порога.

Анализ данных табл. 4 показывает существенное изменение размера максимальной клики в четвертом периоде для значений порога меньше 0,7. Например, для порога 0,5 в первые три периода в клику входили акции 17–18 компаний, а в четвертом периоде число ценных бумаг в клике достигло 35. Иными словами, в последнем периоде размер группы акций с высокой степенью корреляции удвоился по сравнению с предыдущими периодами. Также можно отметить, что для первых трех периодов для одинаковых значений порога число акций, входящих в состав максимальной клики в разные пери-

Таблица 4

Динамика размера максимальной клики для российского рынка

Порог	Число элементов в максимальной клике			
	период 1	период 2	период 3	период 4
0,95 и больше	1	1	1	1
0,9	2	1	1	1
0,85	3	2	1	2
0,8	4	3	2	3
0,75	6	4	3	4
0,7	7	6	5	9
0,65	9	8	6	12
0,6	12	9	9	16
0,55	16	12	13	23
0,5	18	17	17	35

оды, испытывает значительные колебания (отклонения от среднего превышают 20%).

В работе (Boginski, Butenko, Pardalos, 2006) также отмечается существенное увеличение размера максимальной клики рынка США с течением времени. Так, в частности, при значении порога 0,5, в первые периоды размер максимальной клики равен 18–19 акций, что совпадает с размером максимальной клики рынка в России. Затем размер максимальной клики рынка США увеличился до 50 акций, а в последние периоды наблюдений – до 85 акций. Такой вывод, по мнению авторов, может свидетельствовать об усилении процесса глобализации рынков.

В табл. 5 приведен состав найденной максимальной клики для каждого периода для значения порога 0,7. Значение поля «+» в таблице означает включение соответствующей акции в максимальную клику.

Таблица 5

Состав клик российского рынка для каждого из полугодовых периодов для порога 0,7

Акция	Период 1	Период 2	Период 3	Период 4
Газпром (GAZP)	+	+	+	+
Норильский Никель (GMNK)	+	+		
Федеральная гидрогенерирующая компания – РусГидро (HYDR)				+
Лукойл (LKOH)	+	+	+	

Окончание таблицы 5

Акция	Период 1	Период 2	Период 3	Период 4
Межрегиональная распределительная сетевая компания Юга (MRKY)				+
Первая генерирующая компания оптового рынка электроэнергии (OGKA)				+
Вторая генерирующая компания оптового рынка электроэнергии (OGKB)				+
Роснефть (ROSN)	+	+	+	+
Сбербанк России (SBER*)	+	+	+	+
Сбербанк России (SBERP**)	+			+
Татнефть (TATNP)		+		
Банк ВТБ (VTBR)	+		+	+

* Обыкновенная акция.

** Привилегированная акция.

Из таблицы видно, что акции «Газпрома», «Роснефти» и Сбербанка присутствуют в максимальной клике во всех периодах. Акции «Лукойла» и ВТБ присутствуют в трех из четырех рассматриваемых периодов. В состав максимальной клики в четвертом периоде входят компании, которые не встречаются в первых трех. При этом в последнем периоде в максимальной клике появляются компании энергетического сектора.

Рассмотрим динамику изменения размера максимального независимого множества для четырех выделенных периодов. В табл. 6 собраны данные по числу акций, входящих в максимальное независимое множество графа рынка ММВБ при различных значениях порога.

Таблица 6

Число акций в максимальном независимом множестве графа российского рынка

Порог	Число элементов в максимальном независимом множестве			
	Период 1	Период 2	Период 3	Период 4
0,25	49	39	37	29
0,2	29	26	24	19
0,15	19	16	15	12
0,1	11	8	8	7

Отметим монотонное уменьшение во времени числа акций, входящих в максимальное независимое множество, характерное для рынка России при всех выбранных значениях порога. Из результатов работы (Boginski, Butenko, Pardalos, 2006) следует, что для рынка США характерен стабильный размер максимального независимого множества, который при значении порога 0 составляет 10–12 акций на протяжении всех анализируемых периодов.

Состав максимальных независимых множеств для графа рынка России для порога 0,1 приведен в табл. 7.

Таблица 7

Состав максимальных независимых множеств Российского рынка для рассматриваемых периодов при значении порога 0,1

Период	Состав максимального независимого множества
Период 1	Челябинский цинковый завод (CHZN), Дорогобуж (DGBZP), Дальневосточное морское пароходство (FESH), Кубаньэнергосбыт (KBSB), Костромская сбытовая компания (KTSP), НМТП (NMTP), О2ТВ (ODVA), Приморское морское пароходство (PRIM), Росинтер Ресторантс Холдинг (ROST), Энергосбыт Ростовэнерго (RTSB), Заволжский моторный завод (ZMZNP)
Период 2	Кемеровский Азот (AZKM), Челябэнергосбыт (CLSB), Группа Черкизово (GCHЕ), Кировэнергосбыт (KISBP), Банк Москвы (ММВМ), Энергосбыт Ростовэнерго (RTSB), Свердловэнергосбыт (SVSB), Свердловэнергосбыт (SVSBP)
Период 3	Арсатера (ARSA), Челябэнергосбыт (CLSBP), Красный Октябрь (KROT), Магнит (MGNT), Московская городская телефонная сеть (MGTSP), Московская теплосетевая компания (MSSV), Свердловэнергосбыт (SVSBP), Заволжский моторный завод (ZMZNP)
Период 4	АВТОВАЗ (AVAZ), Кировэнергосбыт (KISBP), Ленэнерго (LSNGP), Московская городская телефонная сеть (MGTS), Свердловэнергосбыт (SVSB), Синергия (SYNG), Тамбовская энергосбытовая компания (TASB)

Интересно отметить, что максимальное независимое множество содержит значительное число энергосбытовых компаний, что может свидетельствовать о некоторой независимости региональных энергосбытовых компаний, образовавшихся после реорганизации РАО «ЕЭС России».

Заключение

Выполненные исследования показывают, что метод анализа фондовых рынков, предложенный и развитый в работах (Boginski, Butenko, Pardalos, 2003, 2005, 2006), позволяет обнаружить интересные структурные свойства относительно молодого фондового рынка России по сравнению с хорошо развитым классическим рынком США.

В частности, рынок США имеет более независимый характер, о чем свидетельствует сравнение распределений коэффициентов корреляции доходностей ценных бумаг, обращающихся на рынках России и США. На фондовом рынке США имеется большая степень свободы при формировании диверсифицированного портфеля, так как доля отрицательных коэффициентов корреляции на этом рынке больше, чем на рынке России. Размеры максимальных клик рынка США в четыре раза больше максимальных клик рынка России, при этом число эмитентов на рынке США в 40 раз больше числа эмитентов на рынке ММВБ. Максимальные клики рынка США формируются по отраслевому принципу, а рынка России – вокруг крупных компаний нефтегазового и банковского секторов. Для рынка России размер максимального независимого множества в пять раз меньше, чем для рынка США. Акции, из которых может быть сформирован диверсифицированный портфель на рынке России, принадлежат энергетическим и промышленным предприятиям, не связанным непосредственно с нефтегазовой и банковской отраслями.

Результаты исследования динамики рынков России и США показывают существенное изменение со временем плотности коэффициентов корреляции для рынка России и стабильную плотность этих коэффициентов для рынка США. Кроме того, для рынка США характерен стабильный размер максимального независимого множества, а для рынка России заметно монотонное уменьшение во времени числа акций, входящих в максимальное независимое множество. Эти результаты могут указывать на процесс становления рынка России. Вместе с тем для обоих рынков характерно существенное увеличение размера максимальных клик. Такой вывод может свидетельствовать об усилении процесса глобализации рынков.

В настоящее время разработаны мощные инструменты анализа сложных сетевых моделей, применение которых создает основу для дальнейших исследований фондовых рынков. Естественным развитием предлагаемого подхода являются построение и анализ графа рынка России с учетом объемов продаж и ликвидности ценных бумаг.

Литература

- ММВБ Акции (2012). [Электронный источник] «Финам». Экспорт данных. Режим доступа: <http://www.finam.ru/analysis/export/default.asp>, свободный. Загл. с экрана. Яз. рус. (дата обращения: 22.12.2011].
- Харари Ф.** (1973). Теория графов. М.: Мир.
- Шарп У., Александер Г., Бейли Д.** (1998). Инвестиции. М.: Инфра-М.
- Boginski V., Butenko S., Pardalos P.M.** (2003). On Structural Properties of the Market graph. In: «*Innovations in financial and economic networks*» / Nagurney A. (ed.) Northampton: Edward Elgar Publishing Inc. P. 29–45.
- Boginski V., Butenko S., Pardalos P.M.** (2005). Statistical Analysis of Financial Networks // *Computational Statistics & Data Analysis*. Vol. 48. P. 431–443.
- Boginski V., Butenko S., Pardalos P.M.** (2006). Mining Market Data: A Network Approach // *Computers & Operations Research*. Vol. 33. P. 3171–3184.

- Bowman A.W., Azzalini A.** (1997). *Applied Smoothing Techniques for Data Analysis*. N.Y. Oxford University Press.
- Bron C., Kerbosh J.** (1973). Algorithm 457 – Finding all Cliques of an Undirected Graph // *Communications of ACM*. Vol. 16. P. 575–577.
- Carragan R., Pardalos P.M.** (1990). An Exact Algorithm for the Maximum Clique Problem // *Operations Research Letters*. Vol. 9. P. 375–382.
- Huang W.-Q., Zhuang X.-T., Shuang Y.** (2009). A Network Analysis of the Chinese Stock Market // *Physica A*. Vol. 388. P. 2956–2964.
- Kim H.J., Lee Y., Kahng B.** et al. (2002). Scale-free Networks in Financial Correlations // *J. of Physical Society of Japan*. Vol. 71. P. 1–5.
- Mantegna R.N.** (1999). Hierarchical Structure in Financial Market // *The European Physical Journal B – Condensed Matter and Complex Systems*. Vol. 11. P. 193–197.
- Mantegna R.N., Stanley H.E.** (2000). *An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Markowitz H.M.** (1952). Portfolio Selection // *The J. of Finance*. Vol. 7 (1). P. 77–91.
- Onnela J.P., Kaski K., Kertesz K.J.** (2004). Clustering and Information in Correlation Based Financial Networks // *The European Physical Journal B – Condensed Matter and Complex Systems*. Vol. 38. P. 353.
- Tumminello M., Aste T., Matteo T.D.** et al. (2005). A Tool for Filtering Information in Complex Systems // *Proceeding of National Academy of Science*. Vol. 102. P. 10421–10426.
- Tumminello M., Aste T., Matteo T.D. et al.** (2007). Correlation Based Networks of Equity Returns Sampled at Different Time Horizons // *The European Physical Journal B – Condensed Matter and Complex Systems*. Vol. 55(2). P. 209–217.
- Tumminello M., Lillo F., Mantegna R.N.** (2010). Correlation, Hierarchies and Networks in Financial Markets // *J. of Econ. Behavior & Organization*. Vol. 75. P. 40–58.

Поступила в редакцию 20 марта 2012 года

A.N. Vizgunov,

V.A. Kalyagin,

A.P. Koldanov,

P.A. Koldanov

National Research University Higher School of Economics,
Nizhny Novgorod

B.I. Goldengorin,

V.A. Zamaraev,

P.M. Pardalos

National Research University Higher School of Economics, Moscow

Applying market graphs for Russian stock market analysis

We study the structural properties of Russian stock market by means of analysis of the corresponding market graph. For this graph we found the distribution of correlations, edge density, maximum cliques and maximum independent sets. We also study the evolution of the structural properties of the market graph over the time.

Keywords: *stock market; stock price; correlation coefficient; market graph; clique; independent set.*

JEL Classification: C02.