
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 330.47

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ФОНДОВЫХ РЫНКОВ РАЗЛИЧНЫХ СТРАН С ПОМОЩЬЮ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ

А. Н. Визгунов, А. С. Наумова

*Национальный исследовательский университет –
Высшая школа экономики в Нижнем Новгороде*

Поступила в редакцию 11.09.2016 г.

Аннотация. В условиях растущей глобализации финансовых рынков важным вопросом для исследования является, сохраняют ли рынки отдельных стран свое своеобразие в течение длительного времени, являются ли они отличными друг от друга. Мы используем в качестве модели сетевую модель фондового рынка и проводим ее анализ с помощью нейронных сетей. По результатам анализа сделан вывод о том, что каждый из рынков исследуемых стран имеет четко отличимые черты на протяжении всего рассматриваемого периода.

Ключевые слова: сетевая модель рынка, фондовый рынок, глобализация, нейронные сети.

Annotation. The globalization process makes all countries stock markets similar to each other. In the paper we try to evaluate this process by analyzing the network models of some countries stock markets by means of neural networks. Our results show that each of the considered countries stock market has a peculiarity that can be used to distinguish the markets.

Keywords: network model, stock market, globalization, neural nets.

1. ВВЕДЕНИЕ

Современные информационные технологии позволяют инвестору рассматривать потенциальные возможности по получению дохода не только на финансовом рынке своей страны, но и рынках других стран. В отличие от рынка своей страны, который обычно хорошо понятен, рынки других стран мира имеют много особенностей, которые необходимо учитывать, но которые тяжело понять и изучить нерезиденту. Дополнительной сложностью является размер объемов информации, генерируемой современными финансовыми рынками. В этих условиях становится важным понимать структурные характеристики фондовых рынков различных стран, иметь возможность понять, являются ли рассма-

триваемые рынки уникальными или процесс глобализации сделал все рынки похожими друг на друга и их динамика определяется, в основном, внешними глобальными причинами и может быть объяснена без учета специфики страны.

Одним из основных способов борьбы со сложностью описания фондового рынка является использование математических моделей. В широко известной работе Марковица [6], которая положила начала целому направлению в теории формирования оптимального портфеля инвестиций, основой для принятия решения по формированию портфеля ценных бумаг является анализ попарных корреляций доходностей акций за рассматриваемый период. Среди подходов, базирующихся на модели Марковица, есть модели, использующие средства сетевого анализа. В частности, модель графа рынка, предложенная в работах

[1–3], предполагает в качестве первого шага построение сетевой модели. Сетевая модель рынка рассматривает матрицу попарных корреляций доходностей как матрицу смежности графа с вершинами, соответствующими торгуемым ценным бумагам и весами ребер, соответствующими коэффициентам корреляции между ними.

В нашей работе мы строим сетевые модели для ряда стран и исследуем вопрос, является ли сетевая модель рынка определенной страны стабильной на протяжении времени и может ли она быть использована как характеристика фондового рынка. Иными словами, можем ли мы по построенной сетевой модели определить, рынок какой страны описан данной моделью. В случае, если предположение является ложным, можно говорить о сформировавшемся едином мировом рынке, структурные характеристики которого не слишком сильно зависят от локальной специфики. Наши расчеты показывают, что для рассматриваемых стран предположение с большой долей вероятности можно считать истинным. Это означает, что несмотря на набирающий силу процесс глобализации специфика фондовых рынков различных стран мира сохраняется и ее необходимо учитывать при анализе возможных инвестиций в рассматриваемую страну.

Статья построена следующим образом: во введении обосновывается актуальность рассматриваемой темы, вторая глава описывает предлагаемую математическую модель и способы проводимого анализа, третья глава содержит информацию о модельных данных, проведенных экспериментах, а также содержит описание полученных результатов, в заключении сформулированы основные выводы и предположения о направлении дальнейших исследований.

2. МОДЕЛЬ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

При построении математических моделей фондового рынка в качестве базы для анализа часто рассматривается матрица попарных корреляций доходностей торгуемых активов. В классической модели Марковица

[6] попарные коэффициенты корреляции используются при формировании оптимального портфеля инвестиций. В работе [5] авторы используют матрицу попарных корреляций в качестве матрицы смежности взвешенного графа – значение корреляции между доходностями двух активов является весом соответствующего ребра. В модели, представленной в работах [1–3], такой граф, называемый сетевой моделью используется в качестве подготовительного шага для построения графа рынка – невзвешенного графа, который получается путем отбрасывания связей, меньших некоторого порога. Мы используем сетевую модель рынка в качестве основы нашего исследования.

При построении сетевой модели, как и в большинстве других моделей, использующих матрицу попарных корреляций, в качестве меры близости доходностей акций используются коэффициенты корреляции Пирсона, вычисляемые по формуле

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

где

$R_i(t) = \ln\left(\frac{P_i(t)}{P_i(t-1)}\right)$ определяет доходность акции i за период, длительностью один торговый день, а

$E(R_i) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n R_i(t)$ определяет среднюю доходность акции i за n торговых дней,

$\text{var}(R_i) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (R_i(t) - E(R_i))^2$ определяет дисперсию доходности акции i за n торговых дней.

Совокупность попарных коэффициентов корреляции и их представление в виде сетевой модели дает важную информацию о взаимосвязях доходностей инструментов рынка различных стран. Анализ модели может помочь выявить тенденции, происходящие на рынке. Сравнение моделей, построенных для разных стран мира, может дать ответ на вопрос нашего исследования, сохраняют ли фондовые рынки рассмотренных стран мира свое своеобразие.

В работе [7] сетевая модель строилась и анализировалась для фондовых рынков стран БРИК. Одной из характеристик, которая была исследована в работе, являлась форма гистограммы распределения корреляций для разных периодов и для разных стран. Авторы статьи отметили согласованное изменение формы гистограммы для разных стран в одни и те же периоды времени, однако лишь упомянули, но не исследовали глубоко еще одно свойство построенных графиков – сохранение для каждой отдельной страны формы кривой на протяжении почти всех рассмотренных периодов времени. Исследуя литературу можно отметить работы [1] для рынка США и [4] для рынка Швеции, в которых также есть иллюстрации, из которых видно, что форма кривой хотя и меняется с течением времени для рынка конкретной страны, но в большинстве периодов эти изменения относительно невелики.

Совокупность информации о том, что множество попарных корреляций является важным для описания фондового рынка, и наблюдения о сохранении формы кривой гистограммы для ряда стран и согласованное изменение данной формы для ряда стран, позволяет выдвинуть гипотезу о том, что форма кривой, характеризующая взаимосвязи торгуемых активов на рынке, является уникальной для рынка определенной страны. Отметим, что в нашей предыдущей статье на тему влияния процесса глобализации на фондовые рынки стран мира [8], мы, используя модель графа рынка оценивали, насколько рынки зависят от глобальных тенденций по согласованному изменению ряда характеристик построенных графов для разных стран. Результатом явилось подтверждение того, что рынки зависят от глобальных тенденций, но не было дано количественных оценок этому явлению, а также не было сформулировано утверждение, достаточно ли специфики рынков для того чтобы говорить о наличии или отсутствии доминирования глобальных тенденций.

Для проверки выдвинутой гипотезы удобно представить гистограмму в виде вектора. Вектор мы рассчитываем следующим обра-

зом: считаются попарные корреляции доходностей активов. Если была рассчитана корреляция C_{ij} , то корреляция C_{ji} не рассчитывается. Также из построенных корреляций исключаются корреляции акции с собой, равные 1. Полученная совокупность корреляций трансформируется в вектор из N компонент, каждая из которых соответствует количеству корреляций, находящихся между соответствующими значениями границ отрезка. В частности, если мы рассматриваем 40 компонент, то отрезок от -1 до 1 , в котором лежат все значения корреляций, разбивается на 40 отрезков с шагом $0,05$. Количество корреляций, попадающих в каждый из таких отрезков, записывается в соответствующую компоненту вектора. Например, если в совокупности рассчитанных корреляций 10 значений находится на отрезке от -1 до $-0,95$, то первая компонента вектора будет равняться 10.

В этом случае появляется возможность переформулировать проблему в следующем виде: пусть дана совокупность векторов, характеризующих рынок стран в разные периоды времени, и мы знаем, какой из этих векторов характеризует какую страну. Если нам дан некоторый вектор для одной из рассмотренных нами стран, построенный по описанным выше правилам, то насколько достоверно мы можем угадать, для какой страны он построен, используя известные нам данные. В такой формулировке задача становится задачей машинного обучения и в нашем исследовании мы решаем ее с помощью аппарата нейронных сетей.

3. МОДЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для проведения анализа мы рассматриваем фондовые рынки следующих стран мира: США, Китая, Индии и Бразилии. Выбор США и Китая обусловлен важностью этих рынков для глобального финансового рынка мира, рынок Индии и Бразилии рассматриваются как рынки быстро растущих стран. Также рынки данных стран рассматривались в работах, на которые мы ссылаемся. По США рассматривались акции, торгующиеся на

Нью-Йоркской фондовой бирже (NYSE), а также на бирже Национальной ассоциации дилеров по ценным бумагам (NASDAQ). Для Китая рассматривалась Шанхайская фондовая биржа (SSE), для Индии – Национальная фондовая биржа Индии (NSE), для Бразилии – биржа Сан-Паулу (BOVESPA). Данные были получены с помощью сервиса yahoo.finance с 2001 по 2015 год. Рассматриваемый промежуток времени был разбит на пересекающиеся интервалы со сдвигом 5 дней. Каждый из интервалов имел около 500 торговых дней. Поскольку для разных стран торговые дни не совпадают, количество получившихся торговых дней в рамках одного периода незначительно меняется.

Анализ модельных данных показал, что торги для выбранных стран проходят с разной степенью интенсивности. Если торговля на биржах США проходит интенсивно и позволяет использовать большое количество ценных бумаг для анализа, то торги на фондовых рынках остальных рассмотренных стран проходят менее интенсивно. Мы предполагали допустимым если количество дней без торгов по ценной бумаге было меньше 30. В этом случае для дней без торгов предполагалось, что цена акции остается неизменной, совпадающей с ценой последней совершенной сделки. В каждом взятом интервале корреляции считались только для таких акций, для которых не было периодов без торговых дней длительностью более 30 дней. Таким образом для разных периодов и для разных стран получалось разное количество ценных бумаг в рассмотрении. Для получения близкого количества рассматриваемых акций, было принято решение ограничиться рассмотрением в США только тех акций, которые входят в индекс S&P500, для остальных стран единственным критерием осталось наличие большого количества дней с торгами. В результате проведенных расчетов для США были отобраны акции 500 компаний, для Китая – акции 497 компаний, для Индии – акции 520 компаний, для Бразилии – акции 341 компании.

Для классификации данных использовался аппарат нейронных сетей, реализованных в среде MatLab. Данные для проведения экс-

периментов делились на три выборки в соотношении 70:10:20. Тренировочная выборка, составляющая 70 % векторов, использовалась для обучения нейронной сети, 10 % векторов входили в проверочную выборку, которая использовалась для предотвращения переобучения сети, и 20 % векторов составляли тестовую выборку, по которой оценивалось качество проведенной классификации. Вычисления проводились многократно с разными составами выборок.

Проведенные эксперименты показывают, что качество классификации существенно зависит от количества компонент в входном векторе и, для оптимального количества компонент позволяют правильно классифицировать свыше 90% векторов тестовой выборки при небольшом (до 5 %) разбросе значений для разных составов выборок. При рассмотрении вырожденных случаев, когда количество компонент в входных векторах менялось от 2 до 5, классифицировать объекты тестовой выборки не удавалось. При росте количества компонент в рассматриваемых векторах начиная со значения 10 точность прогноза повышалась и, при значении от 40 до 80 достигала наилучшего результата, дальнейшее увеличение размерности ухудшало результат.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проделанная работа позволяет говорить о том, что в современном мире пока не сформировался глобальный финансовый рынок, на котором рынок каждой отдельной страны всегда следует общемировым тенденциям. Если рассматривать в качестве характеристики рынка соотношение между доходностями торгуемых ценных бумаг, то каждый из рынков рассмотренных нами стран имеет свои особенности, которые могут быть выявлены методами машинного обучения.

Полученные в исследовании результаты являются интересными и обосновывают причины продолжения работы над проблемой, в частности, нужно анализировать большее количество акций, формировать обучающие выборки вручную с использованием знаний о том, для каких временных промежутков

построены выборки, строить вектора исходя только из соотношения количества корреляций, исключив из рассмотрения отличия по среднему значению, а также использовать модификации сетевой модели, использующие другие характеристики связи между акциями, чем коэффициенты корреляции Пирсона.

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.– Vol. 48. – P. 431–443.

4. *Jallo D., Budai D., Boginski V., Goldengorin B., Pardalos P. M.* Network-Based Representa-

tion 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. – Vol. 32. – P. 91–98.

5. *Mantegna R. N., Stanley H. E.* An Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance. Cambridge University Press, Cambridge, 2000.

6. *Markowitz H.* Portfolio selection. *Journal of Finance.* – 1952. – P. 77–91.

7. *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* / Ed. by Boris I. Goldengorin, Valery A. Kalyagin, Panos M. Pardalos. – NY: Springer, 2013. – Vol. 59, Ch. 12. – P. 191–201.

8. *Визгунов А. Н.* Исследование процесса глобализации на фондовый рынок России с использованием теории графов / А. Н. Визгунов // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Системный анализ и информационные технологии. – 2013. – № 1. – С. 119–125.

Визгунов Арсений Николаевич – доцент кафедры информационных технологий НИУ ВШЭ в Нижнем Новгороде.

Тел.: (831) 416-95-49

E-mail: anvizgunov@hse.ru

Наумова Анастасия Сергеевна – магистр НИУ ВШЭ в Нижнем Новгороде.

Тел.: (831) 416-95-49

E-mail: anvizgunov@hse.ru

Vizgunov Arsenii Nikolaevich – National Research University Higher School of Economics in Nizhnii Novgorod.

Tel.: (831) 416-95-49

E-mail: anvizgunov@hse.ru

Naumova Anastasia Sergeevna – National Research University Higher School of Economics in Nizhnii Novgorod.

Tel.: (831) 416-95-49

E-mail: anvizgunov@hse.ru