Алексеров Ф.Т.[[1]](#footnote-1), Мещерякова Н.Г.[[2]](#footnote-2), Никитина А.А.[[3]](#footnote-3), Швыдун С.В.[[4]](#footnote-4)

**Модели влияния в сетях: применение к международному рынку заимствования**

В работе предлагается новый метод оценки влияния агентов в сетевых структурах, принимающий во внимание интенсивности взаимодействия участников. Ключевой особенностью данного подхода является то, что он рассматривает не только цепочки взаимодействий с контрагентами первого уровня (прямые взаимодействия) и косвенные взаимодействия второго уровня, но и более длинные цепочки косвенных взаимодействий. Это позволяет выявить системно-значимые элементы, которые не могут быть обнаружены с помощью классических мер центральности и других индексов влияния. Предложенный метод был использован для анализа рынка внешних заимствований, что позволило выделить ключевых заемщиков двух типов: а). крупных игроков, обладающих высокими рейтингами и положительной кредитной историей; б). игроков-посредников, привлекающих капитал за счет создания благоприятных инвестиционных условий.

**1. Введение**

По мере все более быстрого развития процессов взаимной интеграции финансовых рынков между собой, все более важными для национальных регуляторов и надгосударственных институтов становится вопрос о системной значимости отдельных элементов финансовых систем. Реализация системного риска в финансовой сфере может привести к возникновению множества негативных последствий для реального сектора и, тем самым, стать причиной кризиса в экономике страны.

На данный момент сетевой подход к анализу системного риска является одним из наиболее востребованных и интенсивно развивающихся. Это, в первую очередь, обусловлено тем, что реальные финансово-экономические взаимодействия носят сетевой характер. В результате, посредством инструментов сетевого анализа можно получить разнообразные характеристики сети, которые позволят отслеживать изменения в ней при проведении экспериментов, имитирующих состояние нестабильности финансового рынка.

В связи с этим количественная оценка значимости элементов финансовых взаимодействий и накопленного системного риска с использованием сетевого подхода представляется актуальной задачей как с практической (для национальных и наднациональных органов макропруденциального регулирования), так и с теоретической точки зрения.

В данной работе мы, принимая во внимание некоторые недостатки существующих методов оценки системных рисков, предлагаем новый метод оценки значимости элементов экономических систем. Стоит также отметить, что исследование во многом основывается на результатах, полученных в работе (Aleskerov et al., 2014). Однако, мы предлагаем ряд существенных улучшений, позволяющих учесть интенсивности в длинных цепочках взаимодействий, которые не принимались во внимание ранее.

Дальнейшее изложение организовано следующим образом. Во-первых, мы рассмотрим существующие подходы, посвященные различным подходам к оценке системного риска. Во-вторых, отметим недостатки существующих методов и особенности предлагаемой методологии исследования на основе простого примера. Затем, мы продемонстрируем практическое применение предлагаемой методологии для анализа международного рынка заимствований.

**2. Обзор литературы**

Проблемам оценки системной значимости и системного риска после кризиса 2008 года уделяется особое внимание. Существенную роль в изучении этого вопроса играют международные финансовые и надзорные органы (BIS, 2013, IMF, 2015), которые к тому же обладают наиболее полной информацией о структуре взаимоотношений на финансовых рынках.

Анализу свойств сетей на рынке межбанковского кредитования и платежных систем посвящены работы (Angelini et al., 1996; Furfine, 2003; Masi et al., 2006, Iori et al., 2008, Леонидов, Румянцев, 2013). В рамках исследований взаимосвязанности отношений собственности можно отметить труды (Garlaschelli et al., 2005, Glattfelder et al., 2010). Существенный вклад в изучение проблемы взаимосвязанности финансовых систем на международном уровне внесли (Allen, Babus, 2009; Allen, Gale, 2000, von Peter, 2007).

В этих работах методическую основу сетевого похода составляет теория графов, когда элементы сети представляют собой узлы направленного графа, а финансовые операции между ними - ребра этого графа. С такой точки зрения ключевое значение приобретает структура сети. В том случае, если система является полной, то есть все ее элементы взаимосвязаны друг с другом, то риск легко передаётся от одного участника к другому. Тогда, очевидно, что частота возникновения шока для отдельного элемента системы будет выше, однако системный характер шока будет ниже, так как потери равномерно распределятся между всеми финансовыми институтами (они оказываются «too interconnected to fail»). Однако, если система неполная и выделяются группы, то риск может приобретать системный характер.

Во многих из отмеченных работ для оценки степени взаимосвязанности авторы используют показатели центральности. В частности, в исследованиях (von Peter, 2007, Cajueiroa, Tabak, 2008, Iori et al., 2008, IMF, 2015) используется ряд показателей, с точки зрения авторов наиболее пригодных для оценки значимости элементов друг для друга: центральность по степени, центральность по близости, центральность по посредничеству, мера престижа (Bonacich et al., 2001).

Однако, в данных исследованиях уделяется внимание в основном наличию или отсутствию взаимосвязи между элементами и в полной степени не учтены интенсивности взаимодействия в системе. Данная проблема решается в работе (Aleskerov et al. 2014), в которой авторы используют индексы влияния и меры центральности для определения ключевых игроков на международном рынке капитала. Предложенный в данной работе индекс центральности заёмщика учитывает характер и количественную составляющую связей между элементами финансовой системы для прямых контрагентов и косвенных контрагентов первого уровня.

**3. Методология**

Рассмотрим простой гипотетический пример (см. рис. 1). Система состоит из 8 элементов, один из которых является чистым кредитором, три из них являются одновременно и кредиторами, и заемщиками, в то время как четыре остальные элемента являются чистыми заемщиками. Значения на ребрах представляют собой сумму кредита (в долларах США), стрелки в сети показывают направление денежных потоков.



Рисунок 1. Гипотетический пример

В таблице 1 показаны результаты оценок классических показателей центральности, применяемых для оценки влияния в сетях.

**Таблица**  Классические показатели центральности

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Центральности** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** |
| Weighted Degree | **1000** | 600 | 350 | **1125** | 155 | 75 | 10 | **685** |
| Closeness | 1.571 | 1 | 1.4 | 1 | **0** | **0** | **0** | **0** |
| Betweenness | 0 | **1.5** | **1.5** | **3** | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eigenvector | 0 | 0.027 | 0.027 | 0.212 | **1** | 0.372 | 0.186 | **1** |

Как показано выше, различные меры центральности дают результаты, которые очень отличаются друг от друга. Анализируя эти значения, можно сделать вывод о том, что классические индексы центральности считаются агента 4 и агента 8 наиболее значимыми. Тем не менее, ни одна из этих мер не считает агента 6 ключевым, в то время как на самом деле, его банкротство может запустить цепную реакцию, которая может привести к банкротству агента 1. Таким образом, мы видим, что в процессе определения ключевых заемщиков индексы центральности учитывают число взаимодействий между агентами, но при этом игнорируют информацию об их интенсивности.

Как уже было отмечено ранее, данная проблема была решена в работе (Aleskerov et al., 2014), где авторами был предложен индекс ключевых заемщиков для выявления наиболее значимых элементов на рынке займов. Для случая одного кредитора и многих заемщиков данный индекс рассчитывается по каждому участнику, принимая во внимание ближайшие взаимодействия между каждым кредитором и его заемщиками, а также влияние этих заемщиков в ключевых группах[[5]](#footnote-5). Для случая с несколькими кредиторами агрегированный индекс рассчитывается с учетом относительных весов каждого из кредиторов.

Предположим для нашего гипотетического значение квоты q равное 25%. и рассчитаем значения индекса ключевых заемщиков. Результаты показаны в таблице 2.

**Таблица**  Индекс ключевых заемщиков

| **Заемщик** | **Индекс ключевых заемщиков** | **Относительные веса** |
| --- | --- | --- |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** |
| L=1 | 0 | 0 | 0.3175 | 0.6875 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.48 |
| L=2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0462 | 0.0308 | 0 | 0.9231 | 0.19 |
| L=3 | 0 | 0 | 0 | 0.9231 | 0.0462 | 0 | 0.0308 | 0 | 0.05 |
| L=4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.25 | 0 | 0.75 | 0.28 |
| **Total** | **0** | **0** | **0.156** | **0.39** | **0.012** | **0.069** | **0.001** | **0.372** |  |

В результате, индекс ключевых заемщиков, предложенный в (Aleskerov et al., 2014), который учитывает только ближайшие взаимодействия, как и классические меры центральности показывает, что заемщики 4 и 8 являются наиболее значимыми.

Наш подход основан на очень простом наблюдении. Когда мы рассматриваем сеть взаимосвязанных кредиторов и заемщиков, устойчивость каждого кредитора будет зависеть от состояния его прямых заемщиков. Кроме того, банкротство любого из прямых заемщиков может быть связано с банкротством тех, кому они предоставили кредиты, т.е. от игроков, являющихся косвенными заемщики по отношению к первоначальному кредитору.

Другими словами, наша методология позволяет рассматривать взаимодействие между кредитором и заемщиком не только на первом уровне, но и на несколько уровней глубже. Основное отличие от подхода, предложенного в предыдущих работах, заключается в том, что наша методология лучше учитывает влияние косвенных заемщиков (s-long-range borrowers), которое во многих задачах играет существенную роль. Параметр *s*, который определяет какое количество "уровней заемщиков" рассматривается для каждого кредитора, может быть установлен на разном уровне, что зависит от задачи. В общем случае он может быть не определен, тогда рассматриваются все возможные прямые и косвенные взаимодействия.

Приведем несколько определений, позволяющих пояснить некоторые моменты в рамках предлагаемой методологии.

Рассмотрим конечное множество $N$, $N=\{1,…,n\}$ и матрицу $A=[a\_{ij}]$, где $i,j\in N$ и $a\_{ij}$ - это размер займа от элемента *i* элементу *j.* Для упрощения, предположим что матрица$A$ уже преобразована таким образом, что если $a\_{ij}\ne 0$, то $a\_{ji}=0$.

Обозначим за $N\_{i}$ множество прямых кредиторов *i*-го элемента*,* т.е.,$N\_{i}=\left\{j\in N:a\_{ij}\ne 0\right\}$*.* Очевидно, что общее число возможных групп прямых заемщиков для элемента *i* равно $2^{|N\_{i}|}$.

*Определение 1*. Группа прямых заемщиков для *i*-го элемента$S\left(i\right)⊆N\_{i}$является определяющей, если $\sum\_{j\in S(i)}^{}a\_{ij}\geq q\_{i}$, где $q\_{i}$ – заранее установленный уровень квоты для *i*-го элемента.

*Определение 2*. Элемент $x\in S\left(i\right)$ является ключевым, если $\sum\_{j\in S(i)\\{x\}}^{}a\_{ij}<q\_{i}$. Обозначим через $S\_{p}\left(i\right)$ множество ключевых элементов в группе $S\left(i\right)$, т.е., $S\_{p}\left(i\right)=\left\{y\in S\left(i\right)|\sum\_{j\in S(i)\\{y\}}^{}a\_{ij}<q\_{i}\right\}$.

Построим матрицу $C=[c\_{ij}]$ на основе матрица *A* и заранее определенной величины квоты:

$$c\_{ij}=\left\{\begin{array}{c}\frac{a\_{ij}}{\min\_{S\left(i\right)⊆N\_{i}|j\in S\left(i\right)}\sum\_{l\in S\left(i\right)}^{}a\_{il}}, if j\in S\_{p}\left(i\right)⊆N\_{i},\\0, j\notin S\_{p}\left(i\right)⊆N\_{i},\end{array}\right.$$

где $S\left(i\right)$ - это определяющая группа прямых заемщиков для элемента *i,*$ S\left(i\right)⊆N\_{i}$*,* и $S\_{p}\left(i\right)$ - это группа, в которой элемент *i* является ключевым*,*$ S\_{p}\left(i\right)⊆S\left(i\right)$.

Очевидно, что построение матрицы *С* аналогично тому, что предлагалось в (Aleskerov et al., 2014). Единственное отличие в том, что мы делаем некоторые ограничения по формированию групп.

Матрица *C* может быть интерпретирована следующим образом. Если $c\_{ij}=1$, тогда заемщик *j* оказывает максимальное влияние на *i,* т.е., величина займа заемщику *j* является критическим для финансовой устойчивости этого кредитора. Наоборот, если $c\_{ij}=0$, то заемщик *j* не оказывает прямого влияния на *i*. Если же $0<c\_{ij}<1$, то мы рассматриваем случай максимального в терминах групп влияния заемщика *j* на *i*.

Таким образом, мы оцениваем прямое влияние элементов системы друг на друга. Для определения косвенного влияния двух элементов необходимо ввести понятие *ρ*-path.

Обозначим за *ρ* бинарное отношение, которое строится как

$iρj⇔c\_{ij}>0$.

Тогда (*i*, *j*) - это пара элементов, таких что *iρj* будет называться ρ-шаг. Путь из *i* в *j* будет представлять собой упорядоченную последовательность шагов, начиная с элемента *i* и заканчивая элементом *j*, таким образом, что второй элемент на каждом шаге совпадает с первым элементом следующего шага. Если все шаги в пути характеризуются одним и тем же соотношением *ρ*, назовем его *ρ*-path. Другим словами, *ρ*-path это упорядоченная последовательность *i, j1, …, jk-1, j*, такие что *iρj1, j1ρj2, …, jk-2ρjk-1, jk-1ρj*. Число шагов в пути будет его длиной.

Для того, чтобы определить косвенное влияние между любыми двумя элементами, рассмотрим все пути между ними длиной меньше, чем определенный параметр *s*, таким образом, что никакой элемент не встречается на пути более чем один раз. Обозначим как $P^{ij}=\{P\_{1}^{ij},P\_{2}^{ij},…,P\_{m}^{ij}\}$ множество уникальных путей *ρ*-paths из *i* в *j,* где *m* - это общее число путей и |$P\_{k}^{ij}$| будет соответствовать пути длинною k*.* Тогда мы можем определить косвенное влияние между элементом *i* и *j* через *ρ*-path путь длиной k $(P\_{k}^{ij}$) как

$f\left(P\_{k}^{ij}\right)=c\_{ij\_{1}}∙c\_{j\_{1}j\_{2}}∙…∙c\_{j\_{n(k)}j}$*, (1)*

*или*

$f\left(P\_{k}^{ij}\right)=min⁡(c\_{ij\_{1}},c\_{j\_{1}j\_{2}},…,c\_{j\_{n(k)}j})$*, (2)*

где *j1, j2,…,* *jn(k)* упорядоченная последовательность, которая дает нам  *ρ*-path путь длиной k из *i* в *j* и *n(k)* это длина этой величины ($n(k)=|P\_{k}^{ij}|$).

Формулы (1) и (2) могут быть интерпретированы следующим образом. Согласно формуле (1) совокупное влияние элемента *j* на элемент *i* нам  *ρ*-path путь длиной k $P\_{k}^{ij}$ рассчитывается с учетом всех прямых влияний между элементами на этом пути, тогда как формула (2) определяет совокупное влияние как значение минимального прямого влияния на этом пути.

В связи с тем, что между двумя различными элементами может быть несколько путей, существует проблема агрегации влияние на различных путях. Для того, чтобы оценить такое совокупное косвенное влияние мы предлагаем несколько методов. Также стоит отметить, что в некоторых случаях нет смысловой необходимости рассматривать все возможные пути между элементом *i* и *j*, т.к. можно предположить, что, начиная некоторого уровня *s*, косвенные заемщики уже не могут оказать влияние на финансовую устойчивость исходного кредитора. Таким образом, параметр *s*, который определяет, сколько слоев (длина пути) рассматривается в модели.

После преобразования получим матрицу $C^{\*}(s)=[c\_{ij}^{\*}(s)]$, рассчитанную как:

1. *Косвенное влияние: сумма влияний на пути*

$c\_{ij}^{\*}\left(s\right)=min⁡(1,\sum\_{k: \left|P\_{k}^{ij}\right|\leq s}^{}f\left(P\_{k}^{ij}\right))$.

1. *Косвенное влияние: случай наихудшего влияния*

$c\_{ij}^{\*}(s)=\max\_{k: \left|P\_{k}^{ij}\right|\leq s}f\left(P\_{k}^{ij}\right)$.

Отметим, что если пути между элементами *i* и *j* не существует *,* тогда $c\_{ij}^{\*}(s)=0$.

Таким образом, для каждого элемента мы можем определить его косвенное влияние на любой другой элемент. Результаты могут быть агрегированы в один вектор, который будет отражать общее влияние каждого элемента в системе. Агрегирование индивидуальных влияний может быть осуществлено на основе относительных весов или по отношению к любым другим параметрам.

**4. Применение индекса ключевых заемщиков к международному рынку заимствования**

Покажем, как описанная выше методология может быть применена для оценки уровня взаимосвязанности банковских систем, иначе, для выявления участников рынка имеющих наибольшую системную значимость. Мы будем использовать предложенную модель, чтобы обнаружить страны с наиболее взаимосвязанными финансовыми системами с учетом интенсивности взаимодействия их банковских систем. В то же время мы понимаем ограничения, связанные с используемыми данными. Анализ трансграничных взаимодействий между странами в основном основываются на данных, которые агрегируются на страновом уровне, и, следовательно, не учитывают внутреннюю гетерогенность банковских систем.

Модель строится на основе данных Банка международных расчетов. Точнее, мы используем статистику BIS на консолидированной основе с учетом конечного носителя риска (consolidated banking statistics on ultimate risk basis). Исходные данные показывают объем иностранных требований страны *i* по отношению к заемщикам в стране *j*, которые включают в себя консолидированные прямые иностранные требования, а также обязательства дочерних компаний и филиалов в стране *j* по отношению к стране *j*. Другими словами, все требования относятся к стране, в которой находится носитель конечного риска. Выборка включает страны G10 (Бельгия, Канада, Франция, Германия, Япония, Нидерланды, Швеция, Швейцария, Соединенное Королевство, США), а также еще 12 стран, предоставляющих отчетность в данном формате (Австралия, Австрия, Финляндия, Чили, Греция, Индия, Италия, Ирландия, Южная Корея, Португалия, Испания, Турция).

На предварительном этапе отбора данных были удалены все нулевые линии (например, требования бывшего Советского Союза и Югославии). Кроме того, мы исключили категорию "Unallocated" и региональные группировки стран. Эти позиции используются в BIS статистике в тех случаях, когда для идентификации участника сделки по отчетности банка и его контрагента не может быть применена традиционная концепция платежного баланса (например, в случае долговых обязательств по ценным бумагам).

В результате, мы получили базу данных, охватывающую 22 страны, которые имеют банковские иностранные претензии и 198 стран, которые имеют обязательства на конец 1 квартала 2015 г. Сеть, рассматриваемая на основе этих данных, включает в себя всю информацию о международных заимствованиях, за исключением сделок между странами, которые не предоставляют отчетность. Сравнивая объем нашей выборки с данным статистического бюллетеня BIS, можно сделать вывод, что наша сеть охватывает около 94% от общего объема иностранных претензий с учетом конечного носителя риска.

Важным аспектом анализа является выбор значения квоты *q*. Один из возможных способов – установить ее в соответствии с рекомендациям Базельского комитета (BCBS, 2013) относительно кредитного риска крупных финансовых организаций (25% от капитала 1 уровня). При этом, когда мы имеем дело с межстрановыми заимствованиями, выбор соответствующего порогового уровня *q* (другими словами, критической суммы кредита) не является столь очевидным. В нашей модели мы используем на ребрах не просто суммы займов, а отношение суммы займов к ВВП для того, чтобы учесть относительный размер заемщиков. Тем не менее, показатель ВВП может быть заменен на объем совокупных активов банковской системы или оценки уровня капитала.

Итак, предположим, что величина *q* составляет 10% от всех исходящих денежных потоков для каждого элемента.

**Таблица**  Ранжирование стран, полученное на основе KBI

| **Страна** | **KBI** | **Ранг** |
| --- | --- | --- |
| **Sum** | **Max** | **MaxMin** | **Sum** | **Max** | **MaxMin** |
| США | 0,083 | 0,133 | 0,080 | 1 | 1 | 1 |
| Гонконг | 0,073 | 0,078 | 0,052 | 2 | 2 | 2 |
| Китай | 0,061 | 0,053 | 0,044 | 3 | 4 | 3 |
| Великобритания | 0,060 | 0,059 | 0,040 | 4 | 3 | 4 |
| Сингапур | 0,040 | 0,029 | 0,028 | 5 | 8 | 6 |
| Каймановы острова | 0,039 | 0,042 | 0,031 | 6 | 5 | 5 |
| Бразилия | 0,039 | 0,031 | 0,025 | 7 | 7 | 7 |
| Люксембург | 0,035 | 0,026 | 0,019 | 8 | 9 | 12 |
| Польша | 0,033 | 0,018 | 0,017 | 9 | 17 | 16 |
| Германия | 0,029 | 0,033 | 0,022 | 10 | 6 | 9 |

В результате мы получаем значение индекса ключевых заемщика для каждой страны, при этом страны с наибольшим значением индекса будут рассматриваться как стержневые или наиболее значимые для стабильности мировой финансовой системы. Все три версии KBI (на основе сумм, на основе путей и максимин) дают очень близкие рейтинги. Основные отличия начинаются с середины стран Топ-10. Top-2 позиции стабильны во всех трех вариантах и достаются США и Гононгу.

Согласно таблице 3 высокие оценки были получены для двух типов стран.

В первую очередь, высокие рейтинги характерны для крупных и сильных экономик, таких как США, Великобритания и Китай. Их финансовые системы характеризуются высоким уровнем надежности и высокими суверенными рейтингами. В результате, их финансовые продукты (банковские депозиты или ценные бумаги), привлекают большое количество инвесторов. Эти результаты находятся в соответствии с выводами (IMF, 2015) и может стать хорошей основой для обоснования политики "too big to fail", когда финансовые сектора этих стран рассматриваются как источник глобального системного риска и должны более тщательно мониториться.

Кроме того, в отличие от предыдущих работ, мы можем определить группу стран, которые не столь велики по размеру экономик, но при этом получили высокие KBI значения. Такие страны, как Гонконг, Каймановы острова, Сингапур и Люксембург могут быть хорошими примерами "too interconnected to fail" экономиками. Благодаря своей привлекательной бизнес-среде, хорошо развитой инфраструктуре, человеческому капиталу и положительной репутации эти страны стимулируют инвесторов предоставлять им свои активы, что делает эти страны крупными системно значимыми заемщиками.

Для сравнения мы оценили уровень взаимосвязанности стран, используя широкий спектр мер центральности: взвешенную степеную центральность, центральность по близости, центральность по посредничеству, PageRank и центральность собственного вектора. Эти меры описаны в (von Peter, 2007), (Barrat et al., 2004), и мы придерживались очень похожей логики.

**Таблица**  Ранжирования на основе мер центральности

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Name** | **WDeg** | **Betw (min path: high weights is better)** | **Clos (high weights is better, undirected)** | **PageRank** | **EigenVec** |
| США | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Великобритания | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| Германия | 5 | 12 | 10 | 3 | 5 |
| Франция | 4 | 14 | 14 | 4 | 4 |
| Япония | 3 | 10 | 2 | 5 | 3 |
| Нидерланды | 9 | 16 | 18 | 6 | 9 |
| Каймановы острова | 13 | 18 | 20 | 7 | 10 |
| Китай | 15 | 18 | 22 | 8 | 14 |
| Гонконг | 14 | 18 | 19 | 9 | 13 |
| Италия | 10 | 6 | 12 | 10 | 11 |

Далее, мы использовали корреляционный анализ для того чтобы сравнить ранжировки по классическим мерам центральности и по индексам ключевых заемщиков. Поскольку положение в рейтинге является переменной ранга, то для оценки согласованности различных рейтингов вместо традиционных коэффициентов корреляции Пирсона были использованы ранговые коэффициенты корреляции. В данной работе были рассчитаны коэффициент Кендалла (Kendall, 1970) и коэффициентом Гудман и Краскала (Goodman, Kruskal, 1954).

**Таблица**  Kendall $τ$-coefficient

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **WDeg** | **Clos** | **PageRank** | **EigenVec** | **Betw** | **Sim** | **Sum** | **MaxPath** | **MaxMin** |
| **WDeg** |  | 0,908 | 0,987 | 0,974 | 0,464 | 0,911 | 0,926 | 0,930 | 0,918 |
| **Clos** | 0,908 |  | 0,898 | 0,922 | 0,483 | 0,845 | 0,869 | 0,870 | 0,843 |
| **PageRank** | 0,987 | 0,898 |  | 0,951 | 0,438 | 0,913 | 0,937 | 0,939 | 0,933 |
| **EigenVec** | 0,974 | 0,922 | 0,951 |  | 0,456 | 0,869 | 0,897 | 0,897 | 0,866 |
| **Betw** | 0,464 | 0,483 | 0,438 | 0,456 |  | 0,355 | 0,344 | 0,359 | 0,353 |
| **Sim** | 0,911 | 0,845 | 0,913 | 0,869 | 0,355 |  | 0,966 | 0,967 | 0,965 |
| **Sum** | 0,926 | 0,869 | 0,937 | 0,897 | 0,344 | 0,966 |  | 0,998 | 0,987 |
| **MaxPath** | 0,930 | 0,870 | 0,939 | 0,897 | 0,359 | 0,967 | 0,998 |  | 0,988 |
| **MaxMin** | 0,918 | 0,843 | 0,933 | 0,866 | 0,353 | 0,965 | 0,987 | 0,988 |  |

**Таблица**  Goodman, Kruskal $γ$-coefficient

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **WDeg** | **Clos** | **PRank** | **EigenVec** | **Betw** | **Sim** | **Sum** | **MaxPath** | **MaxMin** |
| **WDeg** |  | 0,745 | 0,903 | 0,880 | 0,378 | 0,730 | 0,767 | 0,772 | 0,743 |
| **Clos** | 0,745 |  | 0,728 | 0,763 | 0,397 | 0,654 | 0,684 | 0,684 | 0,657 |
| **PRank** | 0,903 | 0,728 |  | 0,828 | 0,354 | 0,739 | 0,791 | 0,789 | 0,768 |
| **EigenVec** | 0,880 | 0,763 | 0,828 |  | 0,371 | 0,673 | 0,719 | 0,719 | 0,681 |
| **Betw** | 0,378 | 0,397 | 0,354 | 0,371 |  | 0,289 | 0,278 | 0,291 | 0,285 |
| **Sim** | 0,730 | 0,654 | 0,739 | 0,673 | 0,289 |  | 0,887 | 0,887 | 0,874 |
| **Sum** | 0,767 | 0,684 | 0,791 | 0,719 | 0,278 | 0,887 |  | 0,976 | 0,924 |
| **MaxPath** | 0,772 | 0,684 | 0,789 | 0,719 | 0,291 | 0,887 | 0,976 |  | 0,930 |
| **MaxMin** | 0,743 | 0,657 | 0,768 | 0,681 | 0,285 | 0,874 | 0,924 | 0,930 |  |

Мы можем видеть, что, по данным оценкам, среди показателей центральности наиболее близким по отношению к результатам, полученным по рейтингам на основе индекса ключевых заемщиков, является PageRank центральность. Это факт подтверждается обоими коэффициентами корреляции (Kendall $τ$ and $γ$-coefficient). Также похожие ранжировки дает взвешенная степенная центральность. Следует отметить, что в целом, для модели, применяемой к международному рынку заимствований, классические показатели центральности в высокой степени согласуются с нашими версиями индекса ключевых заемщиков. Только для центральности по посредничеству коэффициенты корреляции были получены менее 0,4 (Kendall τ) или менее 0,3 (γ-коэффициент). Однако, по данным итоговых таблиц, видно, что только индекс ключевых заемщиков с учетом длинных цепочек взаимодействий позволяет выявлять системно значимые страны второй группы.

**5. Заключение**

Сетевой подход может быть применен к различным сегментам финансовой системы для оценки системного риска. В нашей работе, различные модели оценки системного риска были применены к определенной части финансового рынка – рынку международных заимствований.

Данная работа предлагает некоторую методологическую основу, которая в дальнейшем может быть расширена и усовершенствована. Предложенная нами модель призвана помочь регуляторам финансовых систем определить элементы системы, которые являются либо слишком крупными, либо слишком взаимосвязанными, чтобы допускать их финансовую нестабильность. Кроме того, предлагаемая методика позволяет определить страны, которые на первый взгляд не имеют высокий уровень системной значимости, но при этом оказывают существенное влияние на стабильность системы в целом.

Эмпирические результаты, основанные на нашей методологии в целом можно оценить как соответствующие выводам, сделанными МВФ и другими МФО, но кроме того, эти результаты обращают наше внимание на важность стран, которые из-за их посреднической роли в глобальных финансах, могут иметь большое влияние на стабильность всей системы.

**6. Литература**

1. Acharya V. V., Pedersen L. H., Philippon T., Richardson M. “Measuring Systemic Risk”, Federal Reserve Bank of Cleveland Working paper No. 02 (2010);
2. Adrian T., Brunnermeier M. "CoVaR", Federal Reserve Bank of New York Staff Report No. 348 (2010);
3. Allenspach, N., Monnin, P. International integration, common exposures and systemic risk in the banking sector: an empirical investigation. Swiss National Bank Working Paper, 2006;
4. Aleskerov F.T., Andrievskaya I.K., Permjakova Е.Е. Key borrowers detected by the intensities of their short-range interactions / Working papers by NRU Higher School of Economics. Series FE "Financial Economics". 2014. No. WP BRP 33/FE/2014;
5. Aleskerov F.T. “Power indices taking into account agents’ preferences” In: B. Simeone & F. Pukelsheim (eds), Mathematics and Democracy, Berlin: Springer, pp. 1-18 (2006);
6. Aleskerov F.T., Pislyakov V.V., Subochev A.N. Rankings of economic journals constructed by the Social Choice Theory method (in Russian). Working paper WP7/2013/03. Moscow: HSE Publishing House, 2013;
7. Allen F., Babus A. "Networks in Finance", in Network-based Strategies and Competencies. Ed. P. Kleindorfer and J. Wind, pp. 367-382 (2009);
8. Allen F., Gale D. “Financial contagion”, Journal of Political Economy, Vol. 108, Iss. 1, pp. 1-33 (2000);
9. Angelini P., Maresca G., Russo D. (1996) Systemic risk in the netting system. Journal of Banking and Finance 20: 853-868;
10. Barrat A., Barthelemy M., Pastor-Satorras R., Vespignani A., “The architecture of complex weighted networks”, Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 101, Iss. 11, pp. 3747-3752 (2004);
11. Basel Committee on Banking Supervision (BCBS) “Global systemically important banks: updated assessment methodology and the higher loss absorbency requirement”, Consultative Document (2013);
12. Bonacich P. Technique for Analyzing Overlapping Memberships// Sociological Methodology, Vol.4, 1972, pp.176-185;
13. Chan-Lau J. A. “The Global Financial Crisis and its Impact on the Chilean Banking System”, IMF Working Paper No. 108 (2010);
14. Drehmann M., Tarashev N. “Measuring the systemic importance of interconnected banks’, Bank for International Settlements Working Paper, No.342. (2011);
15. ECB “Financial Stability Review”(2014);
16. Furfine C. (2003) Interbank exposures: quantifying the risk of contagion. Journal of Money, Credit and Banking 35: 111-128;
17. Garlaschelli D., S. Battiston, M. Castri, V.D.P. Servedio, and G. Caldarelli. The Scale-Free Topology of Market Investments. Physica A, 350:491- 499, 2005;
18. Garratt R., Webber L., Willison M. “Using Shapley's Asymmetric Power Index to Measure Banks' Contributions to Systemic Risk”, Bank of England Working Paper No. 468 (2012);
19. Goodhart, C., Sunirand, P., Tsomocos, D., 2006. A model to analyse financial fragility. Economic Theory 27, 107–142;
20. Goodman L.A., Kruskal W.H. Measures of Association for Cross Classifications // Journal of the American Statistical Association, 1954. Vol. 49. #268. P.732-764;
21. Gray D, Merton R, Bodie Z (2008) New framework for measuring and managing macrofinancial risk and financial stability. Harvard Business School Working Paper 09-015;
22. Hartmann P, Straetmans S, de Vries C. Banking system stability: a cross-Atlantic perspective / NBER Working Paper 11698. 2005;
23. Huang X., Zhou H., Zhu H. “Systemic risk contributions”, Finance and Economics Discussions Series, Federal Reserve Board, 2011–08 (2011);
24. IMF "Global Financial Stability Report. A Report by the Monetary and Capital Markets Department on Market Developments and Issues" (2015);
25. Iori G., de Masi G., Precup O.V., Gabbi G., Caldarelli G. “A network analysis of the Italian overnight money market”, Journal of Economic Dynamics and Control, Vol. 32, Iss. 1, pp. 259-278 (2008);
26. Kendall M. Rank correlarion methods. 4th ed. L.: Griffin, 1970;
27. Leonidov A.V., Rumyantsev E.L. Russian Interbank Systemic Risk Assessment from the Network Topology Point of View. New Economic Association Journal, № 3 (19), p. 65–80;
28. Myerson, R. B. 1977. “Graphs and Cooperation in Games.” Mathematics of Operations Research 2:225–9;
29. Newman M.E.J. Networks: An Introduction. – Oxford, UK: Oxford University Press, 2010;
30. Patro D.K., Qi M., Sun X. A simple indicator of systemic risk. Journal of Financial Stability, 9 (2013), 105-116;
31. Segoviano M. A., Goodhart C. “Banking Stability Measures”, IMF Working Paper No. 4. 2009;
32. Shapley L.S., Shubik M. “A method for evaluating the distribution of power in a committee system”, American Political Science Review, 48: 787–792 (1954);
33. Tarashev N., Borio C., Tsatsaronis K. “Attributing systemic risk to individual institutions”, BIS Working Papers No. 308 (2010);
34. Thomson, J.B., 2009. On systemically important financial institutions and progressive systemic mitigation. Federal Reserve Bank of Cleveland Policy Discussion Paper No. 27.
35. von Peter G. “International banking centres: a network perspective”, BIS Quarterly Review, December (2007);
36. Zhou C. “Are Banks Too Big to Fail? Measuring Systemic Importance of Financial Institutions”, International Journal of Central Banking, December (2010).
1. Доктор технических наук, ординарный профессор, Международная научно-учебная Лаборатория анализа и выбора решений (МЛАВР), [Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики](http://www.hse.ru) (НИУ ВШЭ), Институт проблем управления им. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), Москва, alesk@hse.ru [↑](#footnote-ref-1)
2. Международная научно-учебная Лаборатория анализа и выбора решений (МЛАВР), [Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики](http://www.hse.ru) (НИУ ВШЭ), Институт проблем управления им. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), Москва, natamesc@gmail.com [↑](#footnote-ref-2)
3. Международная научно-учебная Лаборатория анализа и выбора решений (МЛАВР), [Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики](http://www.hse.ru) (НИУ ВШЭ), Москва, knurova.a.a@gmail.com [↑](#footnote-ref-3)
4. Международная научно-учебная Лаборатория анализа и выбора решений (МЛАВР), [Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики](http://www.hse.ru) (НИУ ВШЭ), Институт проблем управления им. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), Москва, shvydun@hse.ru [↑](#footnote-ref-4)
5. Группа заемщиков будет являться определяющей, если общая сумма займов участников этой группы у кредитора *L* превышает некоторый уровень *q*. В терминах кредитных взаимоотношений определяющая группа может рассматриваться как множество заемщиков, банкротство которых может привести к банкротству исходного кредитора (когда кредитор уже не может покрыть свои убытки за счет не банкротящихся заемщиков). [↑](#footnote-ref-5)