

Параметры „центральности“ узлов сети цитирования научных статей

С. В. Бредихин, В. М. Ляпунов, Н. Г. Щербакова, А. Н. Юргенсон

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
630090, Новосибирск, Россия

УДК 001.12+303.2

Предметом изучения является сеть цитирования научных статей библиографической базы данных (БД) *RePEc*. Дано формальное определение сети и приведены методы вычисления серии параметров, определяющих центральность ее узлов. На основании извлеченных из БД данных о цитировании статей вычислены значения параметров, по которым проведено ранжирование узлов сети. Результаты оформлены в виде таблиц.

Ключевые слова: сеть цитирования статей, ранжирование статей, параметры узлов, степень, близость, гармоническая близость, посредничество, влияние, информативность.

Subject of studying is the citation network of scientific publications indexed in the bibliographic database *RePEc*. Formal definition of a citation network is given and methods of calculation of the centrality parameters that measure the impact of scientific publications are introduced. Based on the citation information extracted from the DB, values of parameters are calculated and *RePEc* articles ranking according these measures is performed. Results are presented in the form of tables.

Key words: paper citation network, papers ranking, nodes parameters, degree, closeness, harmonic closeness, betweenness, authority centrality, hub centrality.

Введение. Анализ объекта с сетевой структурой, как правило, сводится к измерению его параметров, изучению закономерностей формирования и развития, определению свойств и особенностей структуры, основных шаблонов взаимосвязей, классификации и ранга его узлов. Систематическое изучение таких объектов было вызвано необходимостью решения прикладных задач, связанных с дорожным строительством, идентификацией ключевых игроков в социальных сетях, созданием систем передачи данных и т. п. Активные работы в этом направлении были развернуты в середине XX в., в результате разработано значительное число мер и методов измерения их параметров, многие из которых не дожили до настоящего времени.

Предметом исследования является „сеть цитирования статей“ (СЦС). Акторами сети (узлами) являются научные публикации, коммуникации между ними осуществляются с помощью цитирования. Информация о текущем состоянии цитирования извлечена из распределенной базы библиографических данных (БД) *RePEc* [1]. База регулярно пополняется новыми статьями, а ее содержимое периодически подвергается процедуре индексации, в результате происходит изменение значений параметров СЦС.

Одна из важных проблем анализа СЦС состоит в определении параметров „центральности“ (степени „важности“) узла, характеризующих его влияние на сеть. По этим параметрам возможно ранжирование узлов СЦС, т. е. статей БД. Для вычисления значений этих параметров в мировой практике разработан ряд методов; в работе [2] представлена аксиоматика, определяющая их базовые свойства.

Анализ СЦС базируется на распространенной методике представления сетевых объектов в виде графов и применения матричных вычислений. Используются широко апробированные измерительные меры (описанные, например, в работе [3]) и прозрачные методы вычисления „важности“ отдельно для каждого узла. Отметим, что подход к ранжированию сетей цитирования по параметрам „центральности“ (см., например, [4], [5]) существенно отличается от широко применяемых в библиометрии методов, базирующихся исключительно на подсчете общего числа полученных цитирований.

1. Определение сети цитирования. Пусть $G=(V,E)$ — орграф. Следуя [6], *сетью* будем называть пару (G,f) , где $f : E \rightarrow \mathbf{R}$ — функция, приписывающая каждому ребру графа его вес. Появление термина „сеть цитирования“ обосновано в работе [7], где представлена концепция построения сети на основании данных о цитировании документов и представления ее в виде орграфа. Рассмотрим множество D , содержащее n пронумерованных документов, и отношение R , заданное на $D \times D$:

$$d_i R d_j \equiv d_j \text{ цитирует } d_i, \quad (1.1)$$

определяющее сеть цитирования. Здесь под термином „цитирует“ будем понимать, что библиографическая ссылка на цитируемый документ находится в цитирующем документе. В орграфе $G = (V,E)$ вершины (далее термины „вершины“ и „узлы“ будем считать синонимами) соответствуют документам, а множество E состоит из ориентированных ребер, таких что $(v_j, v_i) \in E$ тогда и только тогда, когда выполняется отношение (1.1).

Для документов d_i и d_j , находящихся в отношении (1.1), примем следующие соглашения:

- а) не существует d_i , который цитирует самого себя;
- б) если d_j цитирует d_i , то d_i не цитирует d_j ;
- с) не существует d_j , который два и более раз цитирует d_i .

Документы, не отвечающие этим соглашениям, не рассматриваются.

Будем рассматривать СЦС, обладающую следующими свойствами: во-первых, $G = (V, E)$ является невзвешенным орграфом без петель, кратных ребер и циклов; во-вторых, если $e = (v_j, v_i) \in E$, (d_j цитирует d_i), то $f(e) = 1$ (т.е. вес ребра, соединяющего цитируемую и цитирующую статьи равен единице). Описание графа G можно задать с помощью матрицы смежности или матрицы инцидентности.

Для представления графа в виде матрицы смежности достаточно $O(|V|^2)$ бит памяти. Для представления графа в виде матрицы инцидентности достаточно $O(|V| \times |E|)$ бит памяти.

Сформулируем характерные свойства графов, представляющих СЦС: во-первых, это ациклические орграфы; во-вторых, добавленные когда-либо вершины в дальнейшем не могут быть удалены; в-третьих, подавляющее число узлов имеет малое число входящих и исходящих дуг; в-четвертых, „цитирование указывает в прошлое“. Эти свойства необходимо учитывать при выборе (разработке) методов измерения параметров вершин и ребер графа, поскольку они существенно отличаются от методов измерения для неориентированных сетевых объектов, применяемых, например, в социологии. Кроме того, несмотря на очевидность направления цитирования, в ряде случаев необходимо конкретно указывать цитирующий и цитируемый объекты.

2. Исходные данные. Статьей будем называть любую журнальную публикацию, индексируемую в БД; другую научную литературу (т.е. не статьи) будем называть *доку-*

ментами. Очевидно, что любая статья может быть процитирована как статьями, так и документами, находящимися в БД.

Произведем извлечения данных из БД. Зафиксируем время $T=03.10.2015, 12:00$ и будем считать, что процесс индексирования цитат всех статей и документов, поступивших в БД к этому времени, выполнен, и результаты индексирования доступны клиентам базы. На момент T в БД содержалось $1,107 \times 10^6$ статей. Процедура индексации цитирования БД, которая обрабатывает списки литературы в индексируемых публикациях, установила следующие отношения цитирования для статей:

- 430×10^3 — число цитируемых статей;
- 676×10^3 — число не цитируемых статей;
- 369×10^3 — число статей, цитируемых статьями;
- 103×10^3 — число статей, цитируемых документами;
- 851×10^3 — число статей, не цитирующих статьи;
- 843×10^3 — число статей, не цитирующих ни статьи, ни документы.

Пример 1. Статья, цитируемая максимальное число раз статьями и документами БД (3879 цитирований): *Blundell R., Bond S. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models // Journal of Econometrics, Vol. 87, Iss.1, 1998. (Elsevier).*

Для проведения численного анализа из множества всех статей БД выделим те, которые одновременно удовлетворяют условиям: 1) цитируют хотя бы одну статью; 2) цитируются хотя бы одной статьей. Это множество обозначим через Ω , $|\Omega| = 134650$. Далее из этого множества с помощью алгоритма BFS [8] были выделены компоненты (слабой) связности: одна главная, обозначим ее через A , содержащая 131684 узла; одна, содержащая 16 узлов, обозначим ее через A_{16} (она будет использована в качестве примера). Другие 1182 компоненты, содержащие от 2 до 15 узлов, в работе не рассматриваются.

Структура данных. Пусть i указывает на статью a_i в БД. Информация о цитировании статьи a_i извлекается из БД в виде указателя $u(i)$ на статью, цитирующую a_i . Обозначим $\{u(i)\}$ множество указателей на все статьи БД, цитирующие a_i . В этом случае информацию о цитировании статьи a_i можно представить в виде пары $(i, \{u(i)\})$.

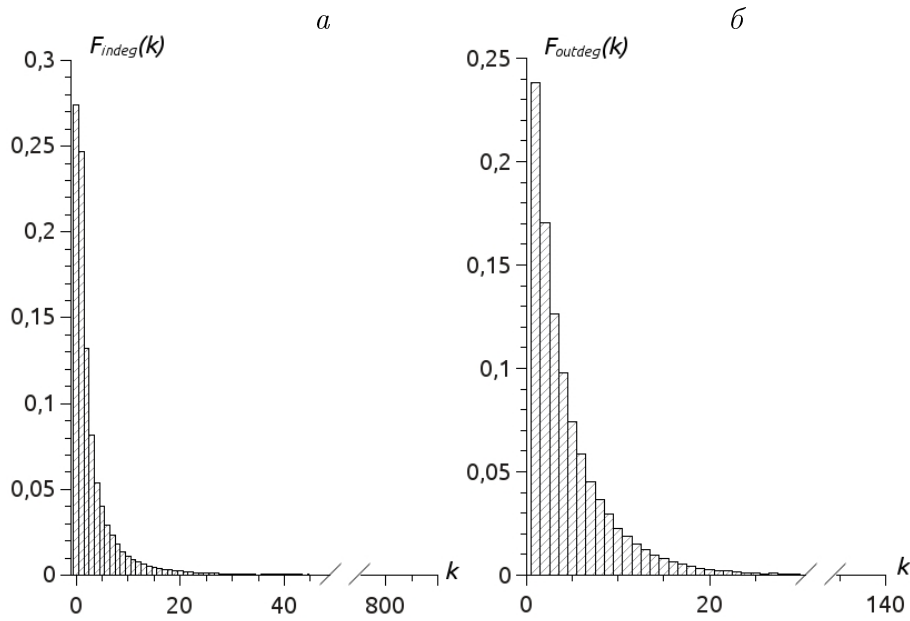
3. Параметр „степень узла“. Простейшим параметром узла является его *степень*, которая в случае неориентированного графа означает число ребер, инцидентных соответствующей вершине [6]. Этот параметр также называют валентностью вершины. В терминах матрицы смежности A степень (*degree*) узла i

$$\deg(i) = \sum_j a_{ij}. \quad (3.1)$$

Реальные сети значительно отличаются распределением степеней узлов. Обозначим $F_{deg}(k)$ долю узлов, имеющих степень k . Значение $F_{deg}(k)$ будем трактовать как вероятность того, что случайно выбранная вершина имеет степень k . Сети, у которых доля узлов со степенью k асимптотически пропорциональна $k^{-\alpha}$, где параметр $\alpha > 1$, называются масштабно-инвариантными (*scale-free network*), поскольку для них выполняется равенство $F_{deg}(bk) = b^{-\alpha} F_{deg}(k)$. Для масштабно-инвариантной неориентированной сети функция $F_{deg}(k)$ имеет вид $F_{deg}(k) = Ck^{-\alpha}$.

В случае ориентированной сети входящие и исходящие связи анализируются отдельно, для этого вычисляется число ребер, которые начинаются либо заканчиваются в данном узле.

Входящая степень (in-degree) подсчитывается как сумма по строке:

Рис. 3.1. Гистограмма F_{indeg} (а) и F_{outdeg} (б)

$$\text{indeg}(i) = \sum_j a_{ij}. \quad (3.2)$$

Исходящая степень (*out-degree*) подсчитывается как сумма по столбцу:

$$\text{outdeg}(i) = \sum_j a_{ji}. \quad (3.3)$$

Анализ данных о цитировании статей множества A показал, что число статей, имеющих ненулевое значение $\text{indeg}(\cdot)$, равно 102 027; число статей из A , имеющих ненулевое значение $\text{outdeg}(\cdot)$, равно 108 089. Результат выборки 12 статей из множества A с максимальными значениями $\text{indeg}(\cdot)$, $\text{outdeg}(\cdot)$, приведен в табл. 7.1.1.

Построим гистограммы распределения входящих и исходящих степеней узлов СЦС. Для этого обозначим $F_{indeg}(k)$ — долю узлов, имеющих входящую степень, равную k ; $F_{outdeg}(k)$ — долю узлов, имеющих исходящую степень, равную k . На рис. 3.1, а, б приведены гистограммы F_{indeg} и F_{outdeg} .

Распределение эмпирических данных на всем диапазоне значений аргументов, как правило, не соответствует степенному закону. Чтобы определить диапазон, на котором этот закон выполняется, применен метод, приведенный в работе [9] и реализованный в пакете *igraph*. Для вычисления α , соответствующего минимальному значению x , используется принцип максимального правдоподобия. В результате для $x \geq x_{\min}$ распределение можно представить в виде $x^{-\alpha}$ с достоверностью, определяемой критерием Колмогорова — Смирнова. Значения параметров $x_{\min}$, α и L, D, p для компоненты A приведены в табл. 3.1.

4. Параметры C_C (близость) и C_{HC} (гармоническая близость). Важной характеристикой узла сети является его близость к остальным узлам. В графах геодезическая дистанция $d(i, j)$ между вершинами i и j определяется как длина кратчайшего пути между ними. *Кратчайшим путем* между вершинами i и j считается путь, имеющий минимальный вес. Вес пути — это сумма весов его ребер. Длина пути для невзвешенного графа — это количество ребер пути.

Таблица 3.1

Параметры F_{indeg} и F_{outdeg}

	$x_{\min}$	α	L	D	p	Рисунок
F_{indeg}	71	3,256	-1817,241	0,016	0,999	3а
F_{outdeg}	27	5,353	-1834,529	0,017	0,994	3б

Удаленность узла связного неориентированного графа определяется как сумма дистанций от данного узла до остальных узлов, а параметр *близость* (*closeness*) в работе [10] определен как обратное от удаленности, т. е.:

$$C_C(i) = \frac{1}{\sum_j d(i,j)}. \quad (4.1)$$

Это значение является денормализованным обратным к среднему арифметическому дистанций. Однако существуют варианты определения, использующие значение, обратное среднему арифметическому.

Орграф называется сильно связным, если все пары вершин взаимно достижимы, и слабо связным, если при игнорировании направления ребер получается связный граф. В применении к орграфам, не являющимся сильно связными (если из вершины i вершина j недостижима, то $d(i,j) = \infty$, поэтому такие вершины исключаются из рассмотрения):

$$C_C(i) = \frac{1}{\sum_{d(i,j) < \infty} d(i,j)}. \quad (4.2)$$

Еще одним вариантом для таких графов является понятие *гармонической близости*, когда вместо обратного к сумме дистанций берется сумма обратных дистанций (в предположении, что $\infty^{(-1)} = 0$):

$$C_{CH}(i) = \sum_{j \neq i} \frac{1}{d(i,j)} = \sum_{d(i,j) < \infty, j \neq i} \frac{1}{d(i,j)}. \quad (4.3)$$

Это значение является денормализованным обратным к среднему гармоническому дистанций.

При определении параметра „близость“ для орграфа можно рассматривать как дистанции от определяемой вершины до всех остальных (режим *out*), так и дистанции от всех вершин до определяемой (режим *in*). В случае, когда цитируемым объектам придается большая значимость, имеет смысл пользоваться вторым определением.

5. Параметр C_B (посредничество). Параметр *посредничество* (*betweenness*) [11] определяет долю кратчайших путей между всеми узлами сети, которые проходят через данный узел. Для социальных сетей параметр служит мерой контроля со стороны индивида за коммуникациями между остальными индивидами.

Пусть σ_{ij} — количество кратчайших путей от вершины i до вершины j графа, а $\sigma_{ij}(v)$ — количество кратчайших путей от i до j , проходящих через v . Тогда индекс $C_B(v)$ для вершины v определяется следующим образом:

$$C_B(v) = \sum_{i \neq v \neq j \in V} \frac{\sigma_{ij}(v)}{\sigma_{ij}}. \quad (5.1)$$

Если количество геодезических путей между i и j равно нулю, то принято считать, что $C_B(v) = 0$. Дробь $\frac{\sigma_{ij}(v)}{\sigma_{ij}}$ можно интерпретировать как вероятность того, что случайно выбранный геодезический путь между i и j пройдет через v . Значение может быть нормализовано путем деления на количество пар, исключаяющих v , это $(n-1)(n-2)$ для ориентированного графа и $(n-1)(n-2)/2$ для неориентированного.

При вычислении параметров „близость“ и „посредничество“ для всех узлов необходимо рассматривать все кратчайшие пути между всеми парами узлов, затраты времени на выполнение вычислений имеют в общем случае кубическую зависимость $O(|V|^3)$ (алгоритм поиска кратчайших путей для всех пар узлов Флойда — Уоршелла [8]). Для разреженных орграфов с отрицательными весами дуг, но неотрицательными весами циклов в работе [12] предложен алгоритм с временными затратами $O(|V||E| + |V|^2 \log |V|)$. Алгоритм для вычисления параметра „посредничество“, предложенный в работе [14], может быть выполнен за время $O(|V||E|)$ для невзвешенных графов и за время $O(|V||E| + |V|^2 \log |V|)$ для взвешенных графов с положительными весами.

6. Параметры C_{AU} (влиятельность) и C_{HU} (информативность). Рассмотрим два типа узлов (статей). Во-первых, будем говорить, что статья имеет тип AU (*authorities*), если она имеет добротное, авторитетное содержание по конкретной теме, что подтверждается ее многократным цитированием; узлы, образованные AU -статьями, назовем влиятельными узлами. Во-вторых, будем говорить, что статья имеет тип HU (*hubs*), если в списке литературы содержится множество ссылок на статьи типа AU (например, HU -статьями являются реферативные статьи и обзоры); узлы, образованные HU -статьями, назовем информативными. Эти определения связаны друг с другом, поскольку влиятельные узлы ссылаются на большое число проверенных источников, а информативные — на влиятельные узлы. Далее, зная структуру СЦС, вычислим, в какой степени каждый узел СЦС является влиятельным и информативным.

Решение подобной задачи предложено в работе [13], где для веб-страниц, образующих с помощью гиперссылок орграф, рассматриваются два типа параметров каждой вершины и предложен алгоритм *HITS* для вычисления их значений. Применим этот алгоритм для вычисления влиятельности и информативности узлов (статей).

Метод вычисления. Каждому узлу i СЦС сопоставим два параметра, $C_{AU}(i)$ и $C_{HU}(i)$, соответствующих значению влиятельности и информативности. Для прозрачности описания обозначим $C_{AU}(i) = x(i)$ и $C_{HU}(i) = y(i)$. Пусть A — матрица смежности. Значение параметра „влиятельность“ x_i узла i вычисляется по формуле

$$x_i = \alpha \sum_j a_{ij} y_j. \quad (6.1)$$

Аналогично, значение параметра „информативность“ y_i узла i вычисляется по формуле

$$y_i = \beta \sum_j a_{ji} x_j, \quad (6.2)$$

здесь α и β — константы. В терминах матриц эти определения выглядят следующим образом:

$$\mathbf{x} = \alpha A \mathbf{y}, \quad \mathbf{y} = \beta A^T \mathbf{x}$$

или

$$AA^T \mathbf{x} = \lambda \mathbf{x}, \quad A^T A \mathbf{y} = \lambda \mathbf{y},$$

где $\lambda = (\alpha\beta)^{-1}$.

Отсюда следует, что векторы значений параметров „влиятельность“ и „информативность“ всех вершин задаются собственными векторами матриц AA^T и $A^T A$, соответственно, с одними и теми же собственными значениями. В работе [15] показано, что это должны быть собственные векторы, соответствующие максимальному собственному значению. Итеративный процесс вычисления, приведенный в работе [13], сходится к вычислению левого главного собственного вектора матрицы AA^T , задающего значения параметров влияния вершин, и левого главного собственного вектора матрицы $A^T A$, задающего значения параметров „информативности“. Однако достаточно вычислить вектор значений параметров „влиятельности“ $\mathbf{x}$, затем по формуле $\mathbf{y} = A^T \mathbf{x}$ вычислить вектор информативности.

В работе [16] подчеркнута связь рассматриваемых произведений матриц с библиометрическим понятием „коцитирование“ [17, 18] и библиографического сочетания [19]. Если A — матрица цитирований, то элемент (i, j) матрицы AA^T задает количество статей, которые ссылаются (цитируют) одновременно на статьи d_i и d_j (коэффициент коцитирования), а элемент (i, j) матрицы $A^T A$ задает количество статей, на которые ссылаются одновременно d_i и d_j (коэффициент библиографического сочетания).

7. Результаты. Основной результат работы состоит в формальной постановке и проведении вычислительного эксперимента по определению значений серии параметров центральности, характеризующих узлы реальной СЦС, построенной на „сырых“ данных о цитировании статей. Приведены результаты эксперимента двух сетевых объектов: главной компоненты A и компоненты A_{16} , выступающей в качестве примера. Старшие значения помещены в таблицы, состоящие из блоков по три столбца в каждом. В первом столбце указан ранг статьи, в третьем — значение параметра и способ его вычисления. Знак „~“ означает, что далее третьего знака после запятой существуют отличные от нуля цифры, которые не приведены в таблице. Вычисления выполнены для двух режимов: *in* и *out* (см. п. 4).

7.1. Параметры главной компоненты A . Из данных о цитировании статей БД *RePEc* выделена главная связная компонента A . В табл. 7.1.1. приведены максимальные значения степеней узлов компоненты A ; их распределение представлено в п. 3.

Для всех узлов компоненты A вычислены значения следующих параметров центральности ее узлов: C_C — близость, C_{HC} — гармоническая близость, C_B — посредничество, C_{AU} — влияние и C_{HU} — информативность. Значения параметров C_{AU} и C_{HU} вычислены с использованием пакета *igraph*. Результаты приведены в табл. 7.1.2 и 7.1.3.

Таблица 7.1.1

Максимальные степени узлов компоненты A

Ранг	i	Indeg(i)	Ранг	i	Outdeg(i)
1	7619	814	1	2120	134
2	25 704	623	2	3269	129
3	7622	595	3	5252	96
4	95 510	411	4	720	89
5	108 187	368	5	4465	84
6	101 665	359	6	5295	78
7	77 182	341	7	7220	75
8	42 019	338	8	17984	74
9	90 796	328	9	6511	69
10	61 493	325	10–12	9403	68
11	31 487	249	10–12	7133	68
12	12 696	248	10–12	2284	68

Таблица 7.1.3

Узлы компоненты A , имеющие наивысший ранг
согласно значениям параметров C_C , C_{HC} и C_B (режим in)

Ранг	i	C_C (4.2)	Ранг	i	C_{HC} (4.3)	Ранг	i	C_B (5.1)
1–12	134 631	1,000	1	77 062	7600,303	1	61 493	30 281 769,3
1–12	134 612	1,000	2	51 987	7032,653	2	14974	28 018 363,6
1–12	134 593	1,000	3	95 510	6559,959	3	41 913	13 545 387,9
1–12	134 585	1,000	4	7622	6075,327	4	36 892	10 679 203,1
1–12	134 582	1,000	5	77 182	5900,148	5	11 268	9 830 826,2
1–12	134 574	1,000	6	7641	5451,072	6	11 270	7 814 841,8
1–12	134 572	1,000	7	131 424	5333,714	7	2329	5 954 729,8
1–12	134 562	1,000	8	122 181	5315,203	8	101 525	5 925 621,3
1–12	134 539	1,000	9	95 514	5282,706	9	2338	5 739 623,4
1–12	134 538	1,000	10	111 631	4960,204	10	40 357	5 021 719,8
1–12	134 523	1,000	11	88 505	4922,742	11	105 051	4 998 783,0
1–12	134 517	1,000	12	77 190	4879,719	12	39 051	4 971 587,7

Таблица 7.1.2

Узлы компоненты A , ранжированные согласно значениям параметров C_C , C_{HC} , C_B , C_{AU} и C_{HU} (режим out)

Ранг	i	C_C (4.2)	Ранг	i	C_{HC} (4.3)	Ранг	i	C_B (5.1)	Ранг	i	C_{AU} (6.1)	Ранг	i	C_{HU} (6.2)
1–12	134 647	1,000	1	22 319	2498,000	1	61 493	30 281 769,3	1	25 704	1,000000	1	7220	1,000000
1–12	134 628	1,000	2	42 354	2254,489	2	14 974	28 018 363,6	2	7619	0,964053	2	7252	0,939649
1–12	134 580	1,000	3	39 310	2224,152	3	41 913	13 545 387,9	3	71 824	0,795896	3	7229	0,741303
1–12	134 576	1,000	4	1974	2216,087	4	36 892	10 679 203,1	4	7622	0,704059	4	9767	0,702208
1–12	134 524	1,000	5	27 063	2162,779	5	11 268	9 830 826,2	5	106 056	0,400129	5	15346	0,693000
1–12	134 520	1,000	6	5252	2135,075	6	11 270	7 814 841,8	6	39 345	0,383201	6	6511	0,680659
1–12	134 513	1,000	7	15 099	2081,817	7	2329	5 954 729,8	7	102 800	0,368848	7	15 402	0,668001
1–12	134 508	1,000	8	20 193	2076,263	8	101 525	5 925 621,3	8	108 187	0,363448	8	7208	0,606159
1–12	134 493	1,000	9	26 996	2042,585	9	2338	5 739 623,4	9	95 744	0,341483	9	6516	0,601918
1–12	134 485	1,000	10	20 191	2037,428	10	40 357	5 021 719,8	10	7220	0,310127	10	7243	0,594781
1–12	134 475	1,000	11	8872	2010,659	11	105 051	4 998 783,0	11	52 798	0,303449	11	7225	0,588652
1–12	134 474	1,000	12	25 760	2005,485	12	39 051	4 971 587,7	12	106 057	0,292110	12	3922	0,580585

Таблица, устанавливающая связь указателя i с библиографическими данными статьи a_i для компоненты A , находится в Приложении.

Замечание 1. Анализ данных о цитировании компоненты A показал, что максимальные значения параметра C_C имеют статьи, каждая из которых цитирует одну статью, которая, в свою очередь, не имеет цитирований. Т. е. в каждом случае имеется только по одному пути длины единица. Несмотря на простоту индивидуальных связей, эти вершины в рамках графа несут смысловую нагрузку, так как их можно рассматривать как представителей первоисточников, получивших нулевое значение параметра. Тем не менее, параметр C_{HC} дал низкую оценку их структурной значимости, что больше соответствует интуитивной предпосылке, заложенной в определение близости: „важную“ позицию имеет актер, наиболее независимый от посредников при передаче информации всем остальным актерам. С точки зрения ранжирования параметр C_{HC} следует признать более подходящим, чем C_C , так как он позволяет четко ранжировать статьи с наибольшими значениями параметра.

Замечание 2. Значения параметра C_B одинаковы для режимов *in* и *out*. Среди вершин, имеющих ненулевое значение параметра, можно произвести четкое ранжирование.

Замечание 3. Значения параметров C_{AU} и C_{HU} приведены только для режима *out*, так как в их определение заложены оба режима.

Поскольку параметр C_C в классической формулировке не всегда пригоден для ранжирования вершин ориентированных графов, применяются специальные подходы, оценивающие расстояния между несвязными вершинами, например, $d(i, j)$ присваивается заведомо большое значение [20]. Обозначим через C'_C значение параметра, вычисленного с применением такого подхода в пакете *igraph* [21]. Результаты ранжирования согласно C'_C сравнимы с результатами ранжирования согласно C_{HC} . Так, коэффициент ранговой корреляции Спирмена $\rho = 0,930165$, коэффициент корреляции Пирсона $r = 0,976398$.

7.2. Пример: „анатомия“ компоненты A_{16} . Эта компонента состоит из 16 узлов. В первых двух столбцах табл. 7.2.1 приведены указатели всех узлов (статей) A_{16} и цитирующих их статей, а также, значения параметров $indeg(.)$ и $outdeg(.)$. Табл. 7.2.2 содержит библиографические данные о статьях компоненты A_{16} .

Отметим, что некоторые статьи табл. 7.2.1 имеют нулевое значение параметров $indeg$ и $outdeg$. Это означает, что они либо цитируются статьями, либо цитируют статьи, которые не удовлетворяют условиям 1, 2 раздела 2.2 и поэтому не входят в множество Ω .

На рис. 7.1 приведен граф цитирования компоненты A_{16} , $i \rightarrow j$ означает „ a_i цитирует a_j “.

В табл. 7.2.3 и 7.2.4 приведены значения параметров C_C , C_{HC} , C_B , C_{AU} и C_{HU} , вычисленные для компоненты A_{16} .

Таблица 7.2.1

Данные о цитировании компоненты A_{16}

i	$\{u(i)\}$	$\text{indeg}(i)$	$\text{outdeg}(i)$
55775	55774	1	1
58606	55774	1	0
78241	55774	1	2
78244	78242	1	3
78245	78241 78242 78243 78244	4	1
78389	55774 55775	2	2
78390	55774 106436 78242 78389	4	2
78391	78389 78390	2	1
82175	78244 78243 78390 78245 78391	5	0
106436	78241	1	3
117824	55774 106436 78242	3	1
117825	106436 78243 78244 55774 117824	5	0
131949	78243	1	0
55774		0	7
78243		0	4
78242		0	4

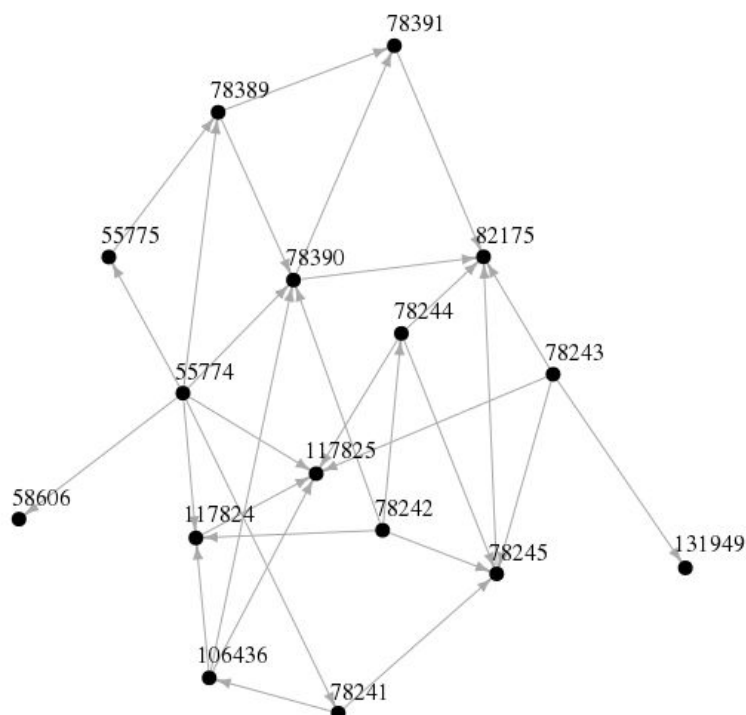
Рис. 7.1. Граф цитирования компоненты A_{16}

Таблица 7.2.2

Связь указателя i с библиографическими данными статьи a_i для компоненты A_{16}

i	Библиографические данные a_i
55775	Yang, X. M.;Yang, X. Q.;Teo, K. L.;Hou, S. H. Second order symmetric duality in non-differentiable multiobjective programming with F-convexity // European J. of Operational Research, 2005, vol.164, iss.2, pp.406-416
58606	Yang, X. M.;Yang, X. Q.;Teo, K. L.;Hou, S. H. Multiobjective second-order symmetric duality with F-convexity // European J. of Operational Research, 2005, vol.165, iss.3, pp.585-591
78241	Khurana, Seema. Symmetric duality in multiobjective programming involving generalized cone-invex functions // European J. of Operational Research, 2005, vol.165, iss.3, pp.592-597
78244	Kim, Do Sang;Song, Young Ran. Minimax and symmetric duality for nonlinear multiobjective mixed integer programming // European J. of Operational Research, 2001, vol.128, iss.2, pp.435-446.
78245	Chandra, S.;Kumar, V. A note on pseudo-invexity and symmetric duality // European J. of Operational Research, 1998, vol.105, iss.3, pp.626-629
78389	Yang, X. M.;Yang, X. Q.;Teo, K. L. Non-differentiable second order symmetric duality in mathematical programming with F-convexity // European J. of Operational Research, 2003, vol.144, iss.3, pp.554-559
78390	Mishra, S. K. Second order symmetric duality in mathematical programming with F-convexity // European J. of Operational Research, 2000, vol.127, iss.3, pp.507-518
78391	Gulati, T. R.;Ahmad, Izhar. Second order symmetric duality for nonlinear minimax mixed integer programs // European J. of Operational Research, 1997, vol.101, iss.1, pp.122-129
82175	Kumar, V.;Husain, I.;Chandra, S. Symmetric duality for minimax nonlinear mixed integer programming // European J. of Operational Research, 1995, vol.80, iss.2, pp.425-430
106436	Suneja, S. K.;Aggarwal, Sunila;Davar, Sonia. Multiobjective symmetric duality involving cones // European J. of Operational Research, 2002, vol.141, iss.3, pp.471-479
117824	Mishra, S. K. Multiobjective second order symmetric duality with cone constraints // European J. of Operational Research, 2000, vol.126, iss.3, pp.675-682
117825	Kim, Do Sang;Yun, Ye Boon;Lee, Won Jung. Multiobjective symmetric duality with cone constraints // European J. of Operational Research, 1998, vol.107, iss.3, pp.686-691
131949	Das, L. N.;Nanda, S. Symmetric dual multiobjective programming // European J. of Operational Research, 1997, vol.97, iss.1, pp.167-171
55774	Mishra, S.K.;Lai, K.K. Second order symmetric duality in multiobjective programming involving generalized cone-invex functions // European J. of Operational Research, 2007, vol.178, iss.1, pp.20-26
78243	Chandra, Suresh;Abha. Technical note on symmetric duality in multiobjective programming: Some remarks on recent results // European J. of Operational Research, 2000, vol.124, iss.3, pp.651-654
78242	Chen, Xiuhong. Minimax and symmetric duality for a class of multiobjective variational mixed integer programming problems // European J. of Operational Research, 2004, vol.154, iss.1, pp.71-83

Таблица 7.2.3

Узлы компоненты A_{16} , ранжированные согласно значениям параметров: C_C , C_{HC} , C_B , C_{AU} и C_{HU}

Ранг	i	C_C (4.1)	Ранг	i	C_{HC} (4.3)	Ранг	i	C_B (5.1)	Ранг	i	C_{AU} (6.1)	Ранг	i	C_{HU}
1-3	78 245	1,000	1	55 774	9,000	1	78 390	6,8	1	117 825	1,000	1	55 774	1,000
1-3	78 391	1,000	2	78 242	5,500	2	106 436	4,0	2	78 390	0,819	2	106 436	0,657
1-3	117 824	1,000	3	78 241	4,333	3	78 389	3,5	3	117 824	0,740	3	78 242	0,615
4	78 390	0,500	4-5	78 243	4,000	4	78 241	2,0	4	78 245	0,634	4	78 243	0,603
5	78 244	0,333	4-5	106 436	4,000	5	78 245	1,3	5	82 175	0,517	5	78 244	0,553
6-7	78 243	0,250	6	78 244	3,000	6	78 391	1,0	6	78 389	0,355	6	117 824	0,256
6-7	78 389	0,250	7	78 389	2,500	7	78 244	0,8	7-9	55 775	0,325	7	78 389	0,245
8	106 436	0,143	8	55 775	2,333	8	117 824	0,5	7-9	58 606	0,325	8	78 241	0,178
9	55 775	0,125	9	78 390	2,000	9-16	5574	0,0	7-9	78 241	0,325	9	78 390	0,167
10	78 242	0,100	10-12	78 245	1,000	9-16	5575	0,0	10	78 244	0,200	10-11	78 245	0,133
11	78 241	0,077	10-12	78 391	1,000	9-16	78 242	0,0	11	131 949	0,196	10-11	78 391	0,133
12	55 774	0,067	10-12	117 824	1,000	9-16	78 243	0,0	12	78 391	0,134	12	55 775	0,091
13-16	58 606	0,000	13-16	58 606	0,000	9-16	58 606	0,0	13	106 436	0,057	13-14	82 175	~ 0,000
13-16	82 175	0,000	13-16	82 175	0,000	9-16	117 825	0,0	14	55 774	~ 0,000	13-14	117 825	~ 0,000
13-16	117 825	0,000	13-16	117 825	0,000	9-16	82 175	0,0	15-16	78 242	0,000	15-16	58 606	0,000
13-16	131 949	0,000	13-16	131 949	0,000	9-16	131 949	0,0	15-16	78 243	0,000	15-16	131 949	0,000

Таблица 7.2.4

Узлы компоненты A_{16} , ранжированные согласно значениям параметров C_C , C_{HC} и C_B (режим *in*)

Ранг	i	C_C	Ранг	i	C_{HC}	Ранг	i	C_B
1–5	131949	1,000	1	82175	7,833	1	78390	6,833
1–5	78244	1,000	2	117825	6,000	2	106436	4,000
1–5	78241	1,000	3	78390	5,000	3	78389	3,500
1–5	58606	1,000	4	78245	4,500	4	78241	2,000
1–5	55775	1,000	5	78391	4,333	5	78245	1,333
6	78389	0,500	6	117824	3,500	6	78391	1,000
7	106436	0,333	7	78389	2,000	7	78244	0,833
8	117824	0,200	8	106436	1,500	8	117824	0,500
9	78245	0,167	9–13	131949	1,000	9–16	5574	0,000
10	78390	0,125	9–13	78244	1,000	9–16	5575	0,000
11	117825	0,111	9–13	78241	1,000	9–16	78242	0,000
12	78391	0,077	9–13	58606	1,000	9–16	78243	0,000
13	82175	0,056	9–13	55775	1,000	9–16	58606	0,000
14–16	55774	0,000	14–16	55774	0,000	9–16	117825	0,000
14–16	78253	0,000	14–16	78253	0,000	9–16	8275	0,000
14–16	78242	0,000	14–16	78242	0,000	9–16	131949	0,000

Приложение

Ниже приведена таблица, устанавливающая связь указателя i с библиографическими данными статьи a_i для компоненты A .

i	Библиографические данные a_i
720	Dechow, Patricia; Ge, Weili; Schrand, Catherine. Understanding earnings quality: A review of the proxies, their determinants and their consequences // Journal of Accounting and Economics, 2010, vol.50, iss. 2-3, pp. 344-401
1974	Li, Ke; Lin, Boqiang. Metafrontier energy efficiency with CO2 emissions and its convergence analysis for China // Energy Economics, 2015, vol.48, iss. C, pp. 230-241
2120	De Gooijer, Jan G.; Hyndman, Rob J. 25 years of time series forecasting // International Journal of Forecasting, 2006, vol.22, iss. 3, pp. 443-473
2284	Armstrong, Christopher S.; Guay, Wayne R.; Weber, Joseph P. The role of information and financial reporting in corporate governance and debt contracting // Journal of Accounting and Economics, 2010, vol.50, iss. 2-3, pp. 179-234
2329	Ruge-Murcia, Francisco J. Methods to estimate dynamic stochastic general equilibrium models // Journal of Economic Dynamics and Control, 2007, vol.31, iss. 8, pp. 2599-2636
2338	Kim, Jinill; Ruge-Murcia, Francisco J. How much inflation is necessary to grease the wheels? // Journal of Monetary Economics, 2009, vol.56, iss. 3, pp. 365-377
3269	Suganthi, L.; Samuel, Anand A. Energy models for demand forecasting: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012, vol.16, iss. 2, pp. 1223-1240
3922	Lee, Chien-Chiang; Chang, Chun-Ping. Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data // Resource and Energy Economics, 2008, vol.30, iss. 1, pp. 50-65

- 4465 Weron, Rafa. Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future // *International Journal of Forecasting*, 2014, vol.30, iss. 4, pp.1030-1081
- 5252 Anderson, Blake; M'Gonigle, Michael. Does ecological economics have a future? // *Ecological Economics*, 2012, vol.84, iss. C, pp.37-48
- 5295 Hanlon, Michelle; Heitzman, Shane. A review of tax research // *Journal of Accounting and Economics*, 2010, vol.50, iss. 2-3, pp.127-178
- 6511 Omri, Anis. An international literature survey on energy-economic growth nexus: Evidence from country-specific studies // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, vol.38, iss. C, pp.951-959
- 6516 Muhammad Shahbaz; Mete Feridun. Electricity consumption and economic growth empirical evidence from Pakistan // *Quality & Quantity: International Journal of Methodology*, 2012, vol.46, iss. 5, pp.1583-1599
- 7133 Marco Vivarelli. Is entrepreneurship necessarily good? Microeconomic evidence from developed and developing countries // *Industrial and Corporate Change*, 2013, vol.22, iss. 6, pp.1453-1495
- 7208 Apergis, Nicholas; Payne, James E. Energy consumption and economic growth: Evidence from the Commonwealth of Independent States // *Energy Economics*, 2009, vol.31, iss. 5, pp.641-647
- 7220 Ozturk, Ilhan A literature survey on energy-growth nexus // *Energy Policy*, 2010, vol.38, iss.1, pp.340-349
- 7225 Saboori, Behnaz; Sulaiman, Jamalludin. Environmental degradation, economic growth and energy consumption: Evidence of the environmental Kuznets curve in Malaysia // *Energy Policy*, 2013, vol.60, iss. C, pp.892-905
- 7229 Herrerias, M.J.; Joyeux, R.; Girardin, E. Short- and long-run causality between energy consumption and economic growth: Evidence across regions in China // *Applied Energy*, 2013, vol.112, iss. C, pp.1483-1492
- 7243 Eggoh, Jude C.; Bangake, Chrysost; Rault, Christophe. Energy consumption and economic growth revisited in African countries // *Energy Policy*, 2011, vol.39, iss. 11, pp.7408-7421
- 7252 Jalil, Abdul. Energy-growth conundrum in energy exporting and importing countries: Evidence from heterogeneous panel methods robust to cross-sectional dependence // *Energy Economics*, 2014, vol.44, iss. C, pp.314-324
- 7619 Blundell, Richard; Bond, Stephen. Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models // *Journal of Econometrics*, 1998, vol.87, iss. 1, pp.115-143
- 7622 Arellano, Manuel; Bover, Olympia. Another look at the instrumental variable estimation of error-components models // *Journal of Econometrics*, 1995, vol.68, iss. 1, pp.29-51
- 7641 Ahn, Seung C.; Schmidt, Peter. Efficient estimation of models for dynamic panel data // *Journal of Econometrics*, 1995, vol.68, iss. 1, pp.5-27
- 8872 Nejat, Payam; Jomehzadeh, Fatemeh; Taheri, Mohammad Mahdi; Gohari, Mohammad; Abd. Majid, Muhd Zaimi. A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries) // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, vol.43, iss. C, pp.843-862
- 9403 Chevallier, Julien. Evaluating the carbon-macroeconomy relationship: Evidence from threshold vector error-correction and Markov-switching VAR models // *Economic Modelling*, 2011, vol.28, iss. 6, pp.2634-2656
- 9767 Farhani, Sahbi; Shahbaz, Muhammad; Sbia, Rashid; Chaibi, Anissa. What does MENA region initially need: Grow output or mitigate CO2 emissions? // *Economic Modelling*, 2014, vol.38, iss. C, pp.270-281
- 11268 Dufour, Jean-Marie; Khalaf, Lynda; Kichian, Maral. On the precision of Calvo parameter estimates in structural NKPC models // *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2010, vol.34, iss. 9, pp.1582-1595
- 11270 Inoue, Atsushi; Rossi, Barbara. Testing for weak identification in possibly nonlinear models // *Journal of Econometrics*, 2011, vol.161, iss. 2, pp.246-261
- 12696 Levine, Ross; Loayza, Norman; Beck, Thorsten. Financial intermediation and growth: Causality and causes // *Journal of Monetary Economics*, 2000, vol.46, iss. 1, pp.31-77
- 14974 Dufour, Jean-Marie; Khalaf, Lynda; Kichian, Maral. Identification-robust analysis of DSGE and structural macroeconomic models // *Journal of Monetary Economics*, 2013, vol.60, iss. 3, pp.340-350

- 15099 Wang, Shaojian; Fang, Chuanglin; Guan, Xingliang; Pang, Bo; Ma, Haitao. Urbanisation, energy consumption, and carbon dioxide emissions in China: A panel data analysis of Chinas provinces // *Applied Energy*, 2014, vol.136, iss. C, pp. 738-749
- 15346 Akkemik, K. Ali; Göksal, Koray. Energy consumption-GDP nexus: Heterogeneous panel causality analysis // *Energy Economics*, 2012, vol.34, iss. 4, pp. 865-873
- 15402 Apergis, Nicholas; Payne, James E. A dynamic panel study of economic development and the electricity consumption-growth nexus // *Energy Economics*, 2011, vol.33, iss. 5, pp. 770-781
- 17984 Jones, Marian V.; Coviello, Nicole; Tang, Yee Kwan. International Entrepreneurship research (1989-2009): A domain ontology and thematic analysis // *Journal of Business Venturing*, 2011, vol.26, iss. 6, pp. 632-659
- 20191 Salahuddin, Mohammad; Gow, Jeff. Economic growth, energy consumption and CO2 emissions in Gulf Cooperation Council countries // *Energy*, 2014, vol.73, iss. C, pp. 44-58
- 20193 Omri, Anis; Daly, Saida; Rault, Christophe; Chaibi, Anissa. Financial development, environmental quality, trade and economic growth: What causes what in MENA countries // *Energy Economics*, 2015, vol.48, iss. C, pp. 242-252
- 22319 Marques, Antnio Cardoso; Fuinhas, Jos Alberto; Menegaki, Angeliki N. Interactions between electricity generation sources and economic activity in Greece: A VECM approach // *Applied Energy*, 2014, vol.132, iss. C, pp. 34-46 // Elsevier Science Economics Articles Archive
- 25704 Im, Kyung So; Pesaran, M. Hashem; Shin, Yongcheol. Testing for unit roots in heterogeneous panels // *Journal of Econometrics*, 2003, vol.115, iss. 1, pp. 53-74
- 25760 Al-Mulali, Usama; Ozturk, Ilhan. The effect of energy consumption, urbanization, trade openness, industrial output, and the political stability on the environmental degradation in the MENA (Middle East and North African) region // *Energy*, 2015, vol.84, iss. C, pp. 382-389
- 26996 Changjian Wang; Fei Wang. Structural Decomposition Analysis of Carbon Emissions and Policy Recommendations for Energy Sustainability in Xinjiang // *Sustainability*, 2015, vol.7, iss. 6, pp. 7548-7567
- 27063 Syriopoulos, Theodore; Makram, Beljid; Boubaker, Adel. Stock market volatility spillovers and portfolio hedging: BRICS and the financial crisis // *International Review of Financial Analysis*, 2015, vol.39, iss. C, pp. 7-18
- 31487 Fama, Eugene F.; French, Kenneth R. Industry costs of equity // *Journal of Financial Economics*, 1997, vol.43, iss. 2, pp. 153-193
- 36892 Jeffrey C. Fuhrer. Habit Formation in Consumption and Its Implications for Monetary-Policy Models // *American Economic Review*, 2000, vol.90, iss. 3, pp. 367-390
- 39051 Justiniano, Alejandro; Preston, Bruce. Can structural small open-economy models account for the influence of foreign disturbances? // *Journal of International Economics*, 2010, vol.81, iss. 1, pp. 61-74
- 39310 Lin, Boqiang; Moubarak, Mohamed; Ouyang, Xiaoling. Carbon dioxide emissions and growth of the manufacturing sector: Evidence for China // *Energy*, 2014, vol.76, iss. C, pp. 830-837
- 39345 Lee, Chien-Chiang. Energy consumption and GDP in developing countries: A cointegrated panel analysis // *Energy Economics*, 2005, vol.27, iss. 3, pp. 415-427
- 40357 Lubik, Thomas A.; Schorfheide, Frank. Do central banks respond to exchange rate movements? A structural investigation // *Journal of Monetary Economics*, 2007, vol.54, iss. 4, pp. 1069-1087
- 41913 Arturo Estrella; Jeffrey C. Fuhrer. Dynamic Inconsistencies: Counterfactual Implications of a Class of Rational-Expectations Models // *American Economic Review*, 2002, vol.92, iss. 4, pp. 1013-1028
- 42019 Axel Ockenfels; Gary E. Bolton. ERC: A Theory of Equity, Reciprocity, and Competition // *American Economic Review*, 2000, vol.90, iss. 1, pp. 166-193
- 42354 May, Gkan; Barletta, Ilaria; Stahl, Bojan; Taisch, Marco. Energy management in production: A novel method to develop key performance indicators for improving energy efficiency // *Applied Energy*, 2015, vol.149, iss. C, pp. 46-61
- 51987 Engle, Robert F. Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation // *Econometrica*, 1982, vol.50, iss. 4, pp. 987-1007
- 52798 Toda, Hiro Y.; Yamamoto, Taku. Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes // *Journal of Econometrics*, 1995, vol.66, iss. 1-2, pp. 225-250
- 61493 Mark Gertler; Jordi Gali; Richard Clarida. The Science of Monetary Policy: A New Keynesian Perspective // *Journal of Economic Literature*, 1999, vol.37, iss. 4, pp. 1661-1707

- 71824 Levin, Andrew; Lin, Chien-Fu; James Chu, Chia-Shang. Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties // *Journal of Econometrics*, 2002, vol.108, iss. 1, pp. 1-24
- 77062 Robert J. Barro. Inflation and Economic Growth // *Annals of Economics and Finance*, 2013, vol.14, iss. 1, pp. 121-144
- 77182 Kenneth Rogoff. The Purchasing Power Parity Puzzle. *Journal of Economic Literature*, 1996, vol.34, iss. 2, pp. 647-668
- 77190 Frankel, Jeffrey; Stein, Ernesto; Wei, Shang-jin. Trading blocs and the Americas: The natural, the unnatural, and the super-natural // *Journal of Development Economics*, 1995, vol.47, iss. 1, pp. 61-95
- 88505 Finn E. Kydland; Edward C. Prescott. Business cycles: real facts and a monetary myth *Quarterly Review*, 1990, iss. Spr, pp. 3-18
- 90796 Carmen M. Reinhart; Graciela L. Kaminsky. The Twin Crises: The Causes of Banking and Balance-of-Payments Problems // *American Economic Review*, 1999, vol.89, iss. 3, pp. 473-500
- 95510 Bollerslev, Tim; Chou, Ray Y.; Kroner, Kenneth F. ARCH modeling in finance : A review of the theory and empirical evidence // *Journal of Econometrics*, 1992, vol.52, iss. 1-2, pp. 5-59
- 95514 Weiss, Andrew A. Asymptotic Theory for ARCH Models: Estimation and Testing // *Econometric Theory*, 1986, vol.2, iss. 01, pp. 107-131
- 95744 Stern, David I. A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy // *Energy Economics*, 2000, vol.22, iss. 2, pp. 267-283
- 101525 Shane Frederick; George Loewenstein; Ted O'Donoghue. Time Discounting and Time Preference: A Critical Review // *Journal of Economic Literature*, 2002, vol.40, iss. 2, pp. 351-401
- 101665 Bollerslev, Tim; Chou, Ray Y.; Kroner, Kenneth F. ARCH modeling in finance: A review of the theory and empirical evidence // *Journal of Econometrics*, 1992, vol.52, iss. 1-2, pp. 5-59
- 102800 Asafu-Adjaye, John. The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries // *Energy Economics*, 2000, vol.22, iss. 6, pp. 615-625
- 105051 Hugo Faria; Hugo Montesinos. Does economic freedom cause prosperity? An IV approach // *Public Choice*, 2009, vol.141, iss. 1, pp. 103-127
- 106056 Soytaş, Ugur; Sari, Ramazan. Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets // *Energy Economics*, 2003, vol.25, iss. 1, pp. 33-37
- 106057 Masih, Abul M. M.; Masih, Rumi. Energy consumption, real income and temporal causality: results from a multi-country study based on cointegration and error-correction modelling techniques // *Energy Economics*, 1996, vol.18, iss. 3, pp. 165-183
- 108187 M. Hashem Pesaran; Yongcheol Shin; Richard J. Smith. Bounds testing approaches to the analysis of level relationships // *Journal of Applied Econometrics*, 2001, vol.16, iss. 3, pp. 289-326
- 111631 Coursey, Don L; Hovis, John L; Schulze, William D. The Disparity between Willingness to Accept and Willingness to Pay Measures of Value // *The Quarterly Journal of Economics*, 1987, vol.102, iss. 3, pp. 679-90
- 122181 Pagan, Adrian; Ullah, Aman. The Econometric Analysis of Models with Risk Terms // *Journal of Applied Econometrics*, 1988, vol.3, iss. 2, pp. 87-105
- 131424 Edward C. Prescott. Theory ahead of business cycle measurement // *Quarterly Review*, 1986, iss. Fall, pp. 9-22
- 134474 Koehl, Pierre-F.; Pham, Huyen. Sublinear price functionals under portfolio constraints // *Journal of Mathematical Economics*, 2000, vol.33, iss. 3, pp. 339-351
- 134475 Gonzalez, Arturo; Hilmer, Michael J. The role of 2-year colleges in the improving situation of Hispanic postsecondary education // *Economics of Education Review*, 2006, vol.25, iss. 3, pp. 249-257
- 134485 Banerjee, Priyodorshi. Common value auctions with asymmetric bidder information // *Economics Letters*, 2005, vol.88, iss. 1, pp. 47-53
- 134493 Manzini, Paola; Mariotti, Marco. Alliances and negotiations // *Journal of Economic Theory*, 2005, vol.121, iss. 1, pp. 128-141
- 134508 Stilianos Fountas; Agapitos Papagapitos. Policy Effectiveness in the Post-ERM Era: Evidence from Six Countries // *Open Economies Review*, 1997, vol.8, iss. 2, pp. 189-201
- 134513 Hiyoshi, Ayako; Fukuda, Yoshiharu; Shipley, Martin J.; Bartley, Mel; Brunner, Eric J. A new theory-based social classification in Japan and its validation using historically collected information // *Social Science & Medicine*, 2013, vol.87, iss. C, pp. 84-92

- 134517 Claudious Chikozho. Globalizing Integrated Water Resources Management: A Complicated Option in Southern Africa // *Water Resources Management*, 2008, vol.22, iss. 9, pp. 1241-1257
- 134520 Jens Suedekum; Uwe Blien. Local Economic Structure and Industry Development in Germany, 1993-2001 // *Economics Bulletin*, 2005, vol.15, iss. 17, pp. 1-8
- 134523 Jos Berge; Klaas Nevels. A general solution to Mosier's oblique procrustes problem // *Psychometrika*, 1977, vol.42, iss. 4, pp. 593-600 // *Springer Economics Journals*
- 134524 Kostas Axaroglou; Stefanos Zarkos. Market demand and the duration of business projects: the housing industry // *Managerial and Decision Economics*, 2010, vol.31, iss. 7, pp. 477-487
- 134538 Vine, E; Nakagami, H; Murakoshi, C. The evolution of the US energy service company (ESCO) industry: from ESCO to Super ESCO // *Energy*, 1999, vol.24, iss. 6, pp. 479-492
- 134539 Dzharparidze, K.; van Zanten, J. H. On Bernstein-type inequalities for martingales // *Stochastic Processes and their Applications*, 2001, vol.93, iss. 1, pp. 109-117
- 134562 Bac, Mehmet. To invest or screen efficiently: a potential conflict in relationships governed by incomplete contracts // *International Journal of Industrial Organization*, 2001, vol.19, iss. 3-4, pp. 567-588
- 134572 Bonnetain, Philippe. A hedonic price model for islands // *Journal of Urban Economics*, 2003, vol.54, iss. 2, pp. 368-377
- 134574 Pešta, Michal; Hudecová, Šárka. Asymptotic consistency and inconsistency of the chain ladder // *Insurance: Mathematics and Economics*, 2012, vol.51, iss. 2, pp. 472-479
- 134576 Saunders, Anthony; Stover, Roger D. Commercial bank underwriting of credit-enhanced bonds: are there certification benefits to the issuer? // *Journal of International Money and Finance*, 2004, vol.23, iss. 3, pp. 367-384
- 134580 Dragan Miljkovic. Measuring and causes of inequality in farm sizes in the United States // *Agricultural Economics*, 2005, vol.33, iss. 1, pp. 21-27
- 134582 Rong Chen; Jianmin Jia. Regret and performance uncertainty in consumer repeat choice // *Marketing Letters*, 2012, vol.23, iss. 1, pp. 353-365
- 134585 Joseph H. Haslag. Seigniorage revenue and monetary policy: some preliminary evidence // *Economic and Financial Policy Review*, iss. Q III, pp. 10-20
- 134593 Kalczyński, Paweł J. A discrete model for optimal operation of fossil-fuel generators of electricity // *European Journal of Operational Research*, 2012, vol.216, iss. 3, pp. 679-686
- 134612 Jeon, Jung Ok; Beatty, Sharon E. Comparative advertising effectiveness in different national cultures // *Journal of Business Research*, 2002, vol.55, iss. 11, pp. 907-913
- 134628 Marco Taboga. The equity premium in the long-run // *Applied Financial Economics*, 2004, vol.14, iss. 9, pp. 645-650
- 134631 Morales, Rolando; Aguilar, Ana Maria; Calzadilla, Alvaro. Geography and culture matter for malnutrition in Bolivia // *Economics & Human Biology*, 2004, vol.2, iss. 3, pp. 373-390
- 134647 Mohammed Adham, Ahmed; Mohd-Ghazali, Normah; Ahmad, Robiah. Thermal and hydrodynamic analysis of microchannel heat sinks: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, vol.21, iss. C, pp. 614-622

Список литературы

1. РЕПЕС. General principles. [Electron. resource]. <http://repec.org/>.
2. ЩЕРБАКОВА Н. Г. Аксиоматика центральности в комплексных сетях // *Проблемы информатики*. 2015. № 3. С. 3–14.
3. BONACICH P., LU P. Introduction to Mathematical Sociology. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2012.
4. LEYDESDORFF L. Betweenness centrality as an indicator of the interdisciplinarity of scientific journals // *J. Amer. Soc. Inform. Sci. and Techn.* 2007. V. 58, iss. 9. P. 1303–1319.
5. KAS M., CARLEY K. M., CARLEY L. R. Trends in Science Networks // *Social Network Analysis and Mining*. 2012. V. 2, iss. 2. P. 169–187.
6. ХАРАРИ Ф. Теория графов. М.: Мир. 1973.
7. PRICE D. Networks of scientific papers // *Science*. 1965. V. 149, N 3683. P. 510–515.

8. КОРМЕН Т., ЛЕЙЗЕРСОН Ч., РИВЕСТ Т. Алгоритмы: построение и анализ. М.: МЦНМО, 2002. 960 с.
9. CLAUSET A., SHALIZI C. R., NEWMAN M. E. J. Power-law distribution in empirical data // SIAM Review. 2009. V. 51, iss. 4. P. 661–703.
10. BAVELAS A. Communication patterns in task-oriented groups // J. Acoustical Society of America. 1950. V. 22(6). P. 725–730.
11. FREEMAN L. C. A set of measures of centrality based upon betweenness // Sociometry. 1977. V. 40. P. 35–41.
12. JOHNSON D. B. Efficient algorithms for shortest paths in sparse networks // J. of the ACM. 1977. V. 24, iss. 1. P. 1–13.
13. KLEINBERG J. M. Authoritative sources in a hyperlinked environment // J. of the ACM. 1999. V. 46, iss. 5. P. 604–632.
14. BRANDES U. A faster algorithm for betweenness centrality // J. of Mathematical Sociology. 2001. V. 25, iss. 2. P. 163–177.
15. NEWMAN M. E. J. Networks. An Introduction. NY: Oxford University Press. 2010. 772 p.
16. KRAUZE T. K., MCGINNIS R. A matrix analysis of scientific specialties and careers in science // Scientometrics. 1979. V. 1, iss. 5–6. P. 419–444.
17. МАРШАКОВА И. В. Система связей между документами, построенная на основе ссылок: по данным Science Citation Index // НТИ. Сер. 2. 1973. № 6. С. 3–8.
18. SMALL H. Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents // J. Amer. Soc. Inform. Sci. 1973. V. 24, iss. 4. P. 265–269.
19. KESSLER M. M. Bibliographic coupling between scientific papers // Amer. Documentation. 1963. V. 14, iss. 1. P. 10–25.
20. CORNWELL B. A complement-derived centrality index for disconnected graphs // Connections. 2005. V. 26, iss. 2. P. 70–81.
21. CSÁRDI G., NEPUSZ T. The igraph software package for complex network research // InterJournal Complex Systems. 2006. 1695 P. Electron. Resource. <http://igraph.org/r/doc/>.

*Бредихин Сергей Всеволодович — канд. техн. наук,
зав. лабораторией Ин-та вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН; e-mail: bred@nsc.ru;*

*Ляпунов Виктор Михайлович — ведущий инженер
Ин-та вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН; e-mail: vic@nsc.ru;*

*Щербакова Наталья Григорьевна — ст. науч. сотр.
Ин-та вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН; e-mail: nata@nsc.ru;*

*Юргенсон Анастасия Николаевна — науч. сотр.
Ин-та вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН; e-mail: nastya@rav.sssc.ru.*

Дата поступления — 06.11.2015