

*ТЕОРИЯ ГРАФОВ КАК МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОСНОВА
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НАУКОМЕТРИИ*

В.Л. ШАПОШНИКОВ

*Краснодарский кооперативный институт (филиал) Российского университета кооперации,
350015, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Седина, 176.*

Цель исследования – выделение направлений применения теории графов в решении задач наукометрии. Известно, что наукометрия – метрологическая ветвь науковедения, занимающаяся вопросами измерения показателей научной деятельности, не связанных напрямую с экономической эффективностью. В то же время известно, что для анализа исследовательской деятельности, как отдельных научных работников, так и научных коллективов, полную первичную мониторинговую информацию можно получить из наукометрических систем (в том числе Российского индекса научного цитирования). Сложность наукометрических задач (в целом – мониторинга исследовательской деятельности) за последние десять лет возросла настолько, что для их решения требуется автоматизированный системно-когнитивный анализ, математической основой которого является теория графов. Автором показаны всевозможные направления применения теории графов для решения сколь угодно сложных задач наукометрии. В статье также показана взаимосвязь задач наукометрии с задачами мониторинга исследовательской деятельности научных учреждений.

Ключевые слова: наукометрия, исследовательская деятельность, эффективность, цитирования, теория графов.

Введение. Современное общество ставит перед научными организациями (особенно перед вузами!) очень сложные задачи, решение которых невозможно без налаженной системы мониторинга на уровне самой научной организации [1–7, 9–13]. Достаточно сказать, что в России с 2013 года введён мониторинг эффективности вузов, при том значительная доля критериев связана именно с научной деятельностью.

Известно, что любая система мониторинга требует наличия критериально-диагностического аппарата [1–15]. Доминирующей (хотя не единственной!) составляющей критериально-диагностического аппарата мониторинга исследовательской деятельности являются наукометрические показатели. Известно, что наукометрия – метрологическая ветвь науковедения, занимающаяся вопросами измерения показателей научной деятельности, не связанных напрямую с экономической эффективностью. Наукометрия как

процесс напрямую связана с анализом публикационной активности научных работников или коллективов.

В настоящее время известно множество наукометрических показателей для научных работников и коллективов; подавляющее большинство основано на цитируемости. Для научных работников наиболее распространены такие показатели, как общее число цитат (на его публикации), средняя цитируемость публикаций, индекс Хирша и g -индекс (равен G , если не менее чем на G публикаций суммарное число цитирований не менее чем G^2). Для научных коллективов распространены такие показатели, как индекс Хирша коллектива, i -индекс коллектива (равен I , если не менее чем I его членов обладают индивидуальным индексом Хирша не менее чем I каждый), суммарное число цитирований и общее число публикаций. Оценка большинства показателей не требует сложных вычислительных процессов.

Тем не менее, существующие наукометрические показатели подвергаются всё более жёсткой критике [4, 5, 9, 10]. Важнейший недостаток многих наукометрических показателей – неадекватность, т.е. неспособность отразить истинную значимость исследовательской деятельности научных работников или коллективов для научного сообщества. Достаточно сказать о том, что существует множество мошеннических схем искусственного “улучшения” индекса Хирша. Да и значимость результатов исследовательской деятельности – не единственный её аспект.

Парадоксальность ситуации усугубляется на фоне двух важнейших аспектов. Во-первых, в настоящее время интенсивное развитие получили инновационные методы обработки информации, составляющие основу автоматизированного многопараметрического системно-когнитивного анализа и предоставляющие практически безграничные возможности для решения задач диагностики (обязательной составляющей мониторинга). Во-вторых, современные наукометрические базы данных (в том числе Российский индекс научного цитирования) позволяют получить полную первичную информацию о

различных аспектах исследовательской деятельности научных работников и коллективов.

Проблема исследования состоит в вопросе, каким образом формировать адекватные наукометрические показатели, объективно отражающие различные аспекты исследовательской деятельности? Для автора настоящей статьи очевидно, что решение этой проблемы возможно на основе применения современных математических методов, прежде всего – теории графов. Известно, что любую систему, состоящую из однородных взаимосвязанных компонентов, можно представить в виде графа [2, 8, 10]. Граф представляет собой совокупность вершин и ребер; вершины отражают компоненты системы, ребра – связи между ними. **Цель исследования** – выделение направлений применения теории графов в решении задач наукометрии.

Результаты исследования. С точки зрения автора, важнейшие направления применения теории графов в наукометрии связаны с анализом научных цитирований, а также всевозможных социальных взаимосвязей. Ведь не следует забывать, что наука – социальный институт, научные работники – часть социума.

В общем виде, графы, отражающие исследовательскую деятельность и её результаты, можно представить в следующем виде: $\gamma = \langle Q \ R \ L \rangle$. Здесь: Q – множество вершин, отражающих научных работников, R – множество вершин, отражающих результаты исследовательской деятельности, L – множество всевозможных связей между ними. Отметим, что на некоторых графов одно из указанных множеств (Q или R) может быть пустым: могут анализироваться либо результаты исследовательской деятельности, либо её субъекты (научные работники). Рассмотрим наиболее перспективные направления применения теории графов.

Первое направление – анализ и диагностика продуктивности подготовки научных кадров. Логика построения графов и их анализа представлена в работе [6]. Отметим, что вершины данного графа – научные работники и результаты их исследовательской деятельности (центральной вершиной такого графа

является всегда научный работник); связи в данном ориентированном графе исходят от подготавливающих научных работников к подготавливаемым. Полноценная диагностика продуктивности подготовки научных кадров в обязательном порядке предполагает анализ результативности исследовательской деятельности подготовленных научных кадров (количество и качество публикаций, участие в исследовательских проектах и т.д.), поэтому в таких графах имеют место и вершины, отражающие результаты исследовательской деятельности (при доминирующей роли вершин, отражающих субъектов исследовательской деятельности, т.е. научных работников).

Второе направление – анализ социальных связей научных работников. В работе [8] представлены такие параметры, как координационное число и социальная валентность научного работника: первый параметр – число соавторов, второй – число соавторов с наибольшим числом совместных публикаций. Если центральной вершиной графа является анализируемый научный работник, то остальными – соавторы его публикаций. Сила связей в таком графе отражает число совместных публикаций одного научного работника с другим. Более того, анализ такого графа позволяет выявить наиболее устойчивые авторские (творческие) коллективы научных публикаций. Подобные графы не являются ориентированными, т.к. отношение СОАВТОРСТВО является транзитивным (см. рис.1).

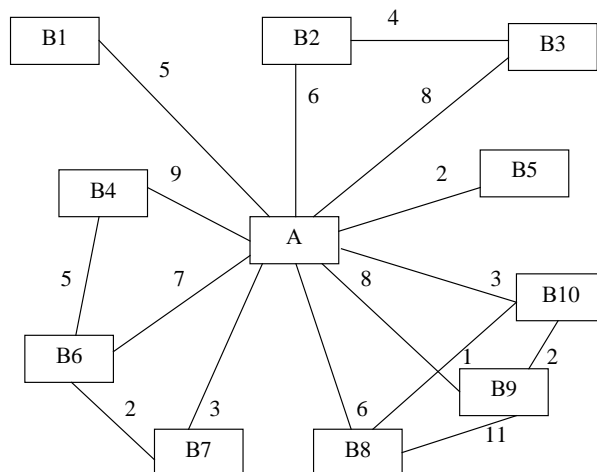


Рисунок 1 – Пример графа социальных связей научных работников

Анализ рисунка 1 показал, что координационное число научного работника А равно 10, социальная валентность равна 6 (наибольшее число совместных публикаций с соавторами В2, В3, В9, В8, В6, В4), а наиболее устойчивыми микросоциумами соавторов являются (А В4 В6), (А В2 В3), (А В8 В9); например, слабы социальные связи между авторами В6 и В7, а авторы В1 и В5 не связаны ни между собой, ни с какими другими соавторами работника А.

С точки зрения автора, теорию графов можно применить для социометрического анализа научных коллективов (например, временных творческих коллективов, коллективов кафедр и т.д.), а также социометрического анализа взаимодействия одних научных коллективов с другими. Пример графа связей (по совместным публикациям) приведён на рисунке 2.

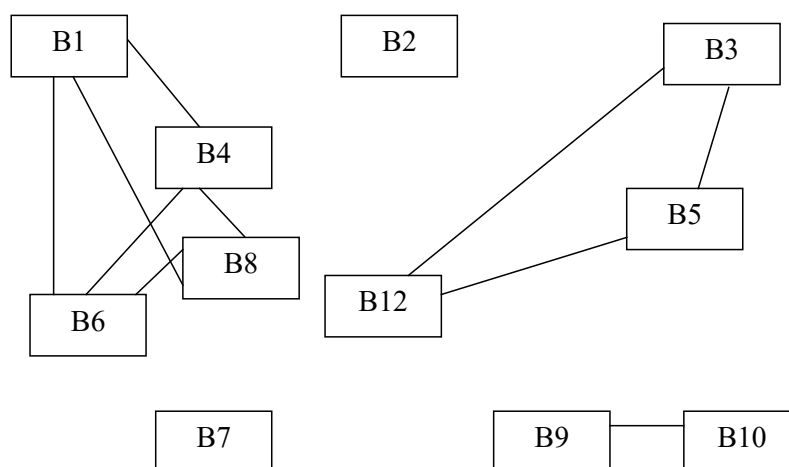


Рисунок 2. – Пример графа социальных связей научных работников внутри коллектива

Анализ рисунка 2 показал, что научный коллектив из 12 работников в целом является разобшённым: представленный граф не является связным. Во-первых, имеются изолированные вершины – научные работники В2 и В7, не имеющие совместных публикаций со своими коллегами. Во-вторых, в пределах анализируемого графа можно выделить три связных подграфа, не связанных между собой (соответственно из 4, 3 и 2 научных работников).

Третье направление – анализ самоцитирований научных работников. В этом случае формируют ориентированный граф, вершины которого – публикации научного работника, стрелки означают связи цитирования между публикациями (идут от цитирующих публикаций к цитируемым). Авторами работы [11] представлена модель оценки обоснованности самоцитирований (исходя из анализа ориентированного графа) и преемственности исследовательской деятельности научного работника; в работе показано, что, чем выше “высота” графа, тем глубже преемственность исследовательской деятельности научного работника (соответственно, самоцитирования являются обоснованными), а чем больше “ширина” графа, тем менее обоснованными являются самоцитирования (особенно более 5 самоцитирований одной публикации).

Четвёртое направление – диагностика преемственности в развитии научного знания, которая служит основой для полноценной диагностики качества научных публикаций. Суть проблемы состоит в следующем. Публикация А получила N цитирований со стороны публикаций B_1, B_2, \dots, B_N , но ни одна из цитирующих публикаций не получила социального признания (т.е. ссылок). Другая публикация получила “всего” три цитаты, но каждая из цитирующих публикаций получила по 10 цитат со стороны научного сообщества, т.е. имеет место преемственное развитие научного знания. В работе [10] показано, что анализ графа связей между цитирующими и цитируемыми публикациями (основание графа – всегда анализируемая публикация) позволяет определить роль анализируемой публикации в преемственном получении результатов исследовательской деятельности, с целью полноценной оценки её качества (это может быть необходимо, например, для определения того, могут ли результаты исследовательской деятельности, отражённые в анализируемой публикации, использоваться в содержании обучения [12]).

Пятое направление связано со сравнительным анализом графов, отражающих различные аспекты анализируемой исследовательской

деятельности. Например, сопоставление графов соавторства научного работника и цитирующих авторов (трудов научного работника) позволит определить число истинно внешних цитат на труды научного работника, а также научных работников – “источников” этих цитат. При формировании графа цитирований не учитываются цитаты (на труды анализируемого научного работника) со стороны научных работников, не являющихся соавторами анализируемого работника, но являющихся соавторами (в цитирующей публикации) соавтора анализируемого работника. Например, если некие труды научного работника А процитировали из цитирующей публикации № 1 авторы С и В (работник В входит во множество соавторов работника А, С – не входит), из цитирующей публикации № 2 – только работник С, то “истинно внешней” цитатой на труды работника А считается только ссылка из цитирующей публикации № 2, т.к. в публикации № 1 есть соавтор работника А. Очевидно, что множество научных работников – источников истинно внешних цитат на труды анализируемого работника, составит $Q''' = Q'' - Q'$, где первый аргумент – множество научных работников на графе, отражающем цитирования (со стороны научного сообщества), первый аргумент – множество соавторов анализируемого научного работника.

Приведём пример анализа значимости результатов исследовательской деятельности (публикаций) научного работника (рисунок 3). В данном примере анализируемым научным работником будет работник А. Из рисунка 3 видно, что соавторами анализируемого научного работника А являются работники В1, В2, В3, В4; источниками цитат на труды работника А являются работники А (10 самоцитирований), В1 (4 цитирования), В2 (9 цитирований), В4 (2 цитирования), С1, С2, С3, С4 и С5. Очевидно, что научными работниками – источниками “истинно внешних” цитат на труды работника А являются С1, С2, С3, С4 и С5, а общее число “истинно внешних” цитат составляет 8. Иначе говоря, результаты исследовательской деятельности работника А значимы для пяти независимых от него членов научного сообщества).

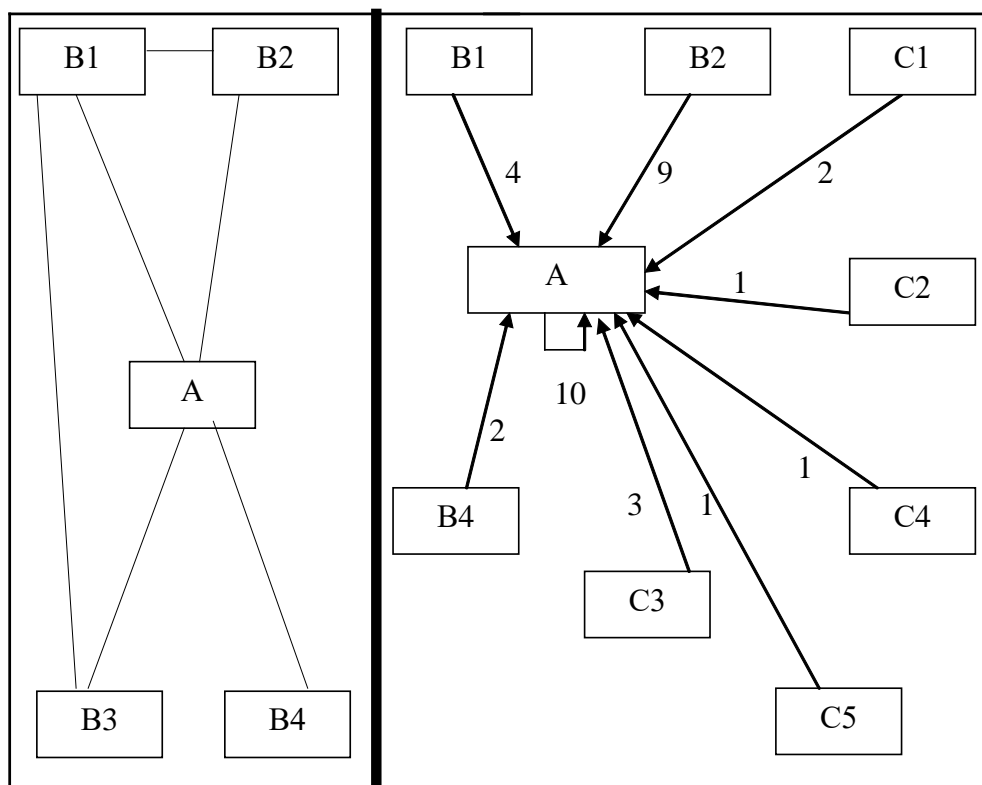


Рисунок 3. – Пример сопоставлений графов соавторства и цитирований научных работников

Очевидно, что реализация пятого направления (совместно с третьим) позволит осуществлять борьбу с искусственным “улучшением” наукометрических показателей, а это – задача, актуальная в настоящее время не только в России, но и во всём мире [1–15].

Заключение. Подводя итог изложенному, отметим, что теория графов необходима, прежде всего, как математическая основа когнитивного моделирования исследовательской деятельности и её результатов (особенно взаимосвязи между результатами). Поскольку и публикации (результаты исследовательской деятельности), и цитаты на них, и сами научные работники являются однородными объектами мониторинга с огромным количеством взаимосвязей (при том, различных типов) между ними, то именно граф является наиболее подходящей моделью для комплексного всестороннего анализа исследовательской деятельности и её результатов. Безусловно, предложенный перечень направлений является далеко не полным. Перспективы исследования

– выявление новых возможностей теории графов в решении задач наукометрии (мониторинга исследовательской деятельности).

ЛИТЕРАТУРА

1. Грудзинский, А.О. Компаративный метод диагностики организационной культуры инновационного университета / А.О. Грудзинский, О.В. Петрова // Социологические исследования. - № 2, 2014. – С. 37-43.

2. Изотова, Л.Е. Портфолио в системе мониторинга личностно-профессионального развития педагога / Л.Е. Изотова, Д.А. Романов, С.В. Потёмина, Е.А. Федоренко, О.Л. Сычёва // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. - № 12 (118), 2014. – С. 92-95.

3. Кравченко, С.А. Новый синтез научного знания: становление междисциплинарной науки / С.А. Кравченко, В.И. Салыгин // Социологические исследования. - № 10, 2015. – С. 22-30.

4. Лойко, В.И. Диагностика эффективности образовательных сред (на примере кафедр и факультетов) / В.И. Лойко, Д.А. Романов, Н.В. Кушнир, А.В. Кушнир // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - № 113, 2015. – С. 1354-1378.

5. Лойко, В.И. Квалиметрическая оценка интегрированности научного работника в научное сообщество, основанная на анализе цитирований / В.И. Лойко, Д.А. Романов, Н.В. Кушнир, А.В. Кушнир // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - № 118, 2016. – С. 1168-1186.

6. Лойко, В.И. Моделирование и диагностика продуктивности подготовки научно-педагогических кадров / В.И. Лойко, Д.А. Романов, В.Л. Шапошников, Н.В. Кушнир, А.В. Кушнир // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - № 120, 2016. – С. 770-784.

7. Петьков, В.А. Проектирование инновационной деятельности кафедры спортивных дисциплин физкультурного факультета вуза / В.А. Петьков, Э.Э. Кочкаров, Э.А. Кубеков // Теория и практика общественного развития. - № 3, 2015. – С. 168-170.

8. Романов, Д.А. Современные методы оценки продуктивности

исследовательской деятельности / Д.А. Романов, О.Б. Попова, Ю.С. Носова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - № 108, 2015. – С. 725-739.

9. Романов, Д.А. Математическое моделирование в структуре информатизации физического воспитания / Д.А. Романов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. - № 1 (71), 2011. – С. 90-95.

10. Романов, Д.А. Диагностика качества публикаций научных работников / Д.А. Романов, О.Б. Попова, С.А. Арефьева // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. - № 2, 2016.

11. Романов, Д.А. Диагностика преемственности исследовательской деятельности научного работника, основанная на анализе самоцитирований / Д.А. Романов, О.Б. Попова, С.А. Арефьева // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. - № 3, 2016.

12. Романова, М.Л. Отражение научного знания в содержании вузовского образования / М.Л. Романова // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. - № 3, 2016. – С. 372-393.

13. Федорова, Н.П. Современные способы формирования мониторинговых показателей / Н.П. Федорова, Г.Е. Тюпенькова, Е.С. Киселева, Д.А. Романов, О.Н. Никулина // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. - № 11, 2015. – С. 266-292.

14. Шапошникова, Т.Л. Формирование готовности студентов к исследовательской деятельности / Т.Л. Шапошникова, М.Л. Романова, А.Е. Карасева (Федюн) // Среднее профессиональное образование. - № 9, 2015. – С. 3-10.

15. Шапошникова, Т.Л. Диагностика сформированности компетенций / Т.Л. Шапошникова, В.Г. Миненко, К.В. Хорошун, Д.А. Романов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. - № 3 (121), 2015. – С. 180-184.

REFERENCES

1. A.O. Grudzinskiy and O.V. Petrova (2014) Sociologicheskie issledovaniya, No 2, pp. 37-43.

2. L.E. Izotova etc. (2014) Uchenyie zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta, No 12, Vol. 118, pp. 92-95.

3. S.A. Kravchenko and V.I. Salyigin (2015) Sociologicheskie issledovaniya, No 10, pp. 22-30.
4. V.I. Loyko etc. (2015) Politematicheskii setevoy elektronniy nauchniy jurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, No 113.
5. V.I. Loyko etc. (2016) Politematicheskii setevoy elektronniy nauchniy jurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, No 118.
6. V.I. Loyko etc. (2016) Politematicheskii setevoy elektronniy nauchniy jurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, No 120.
7. V.A. Petkov etc. (2015) Teoriya i praktika obschestvennogo razvitiya, No 3, pp. 168-170.
8. D.A. Romanov etc. (2015) Politematicheskii setevoy elektronniy nauchniy jurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, No 108.
9. D.A. Romanov (2011) Uchenyie zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta, No 1, Vol. 71, pp. 90-95.
10. D.A. Romanov etc. (2016) Nauchnyie trudyi Kubanskogo gosudarstvennogo technologicheskogo universiteta, No 2.
11. D.A. Romanov etc. (2016) Nauchnyie trudyi Kubanskogo gosudarstvennogo technologicheskogo universiteta, No 3.
12. M.L. Romanova (2016) Nauchnyie trudyi Kubanskogo gosudarstvennogo technologicheskogo universiteta, No 3, pp. 372-393.
13. N.P. Fedorova etc. (2015) Nauchnyie trudyi Kubanskogo gosudarstvennogo technologicheskogo universiteta, No 11, pp. 266-292.
14. T.L. Shaposhnikova etc. (2015) Srednee professionalnoe obrazovanie, No 9, pp. 3-10.
15. T.L. Shaposhnikova etc. (2015) Uchenyie zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta, No 3, Vol. 121, pp. 180-184.

*GRAPHS THEORY AS A FOUNDATION
FOR SCIENTOMETRICS TASKS SOLVING*

V.L. SHAPOSHNIKOV

*Krasnodar branch of Russian University of Cooperation,
176, Sedina st., Krasnodar, Russian Federation, 350015.*

The purpose of investigation is selecting of branches of graphs theory using in scientometrics problems solving. It is known, that the scientometrics is metrological branch of “science about science”, dedicated to problems of scientific activity parameters measurement, not interrelated with economic efficiency. However, it is known, that analysis of investigate activity both scientific workers and teams, allowed to receive the full preliminary information from scientometrics databases (also, from Russian Science Citation Index). The complexity of scientometrics problems (in whole context, the monitoring of investigate activity) is growth during ten years, that’s why for its solving required the computer-aided system-cognitive analysis, based on graphs theory. The author showed the all kinds of branches of graphs theory using for solving of every complex scientometrics problems. In article the author also reflected the interrelation of scientometrics problems with scientific establishments monitoring.

Key words: scientometrics, investigate activity, efficiency, cites, graphs theory.