

Методология историко-научных исследований

О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕТОДОВ В ИСТОРИКО-НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

С. Д. ХАЙТУН

Применение математических методов в истории науки прослеживается по крайней мере с 1830 г. [1]. И сегодня математические методы все чаще используются в историко-научных работах. При общем преобладании качественных методов прослеживается тенденция ко все более частому, все более разнообразному использованию количественных методов. Неправы, конечно, те, кто полагает, будто любой объект и любая сторона объекта поддаются *какой угодно* математизации. Как заметил Ф. Энгельс, «если захочешь добиться математической достоверности в вещах, не допускающих этого, нельзя не впасть в нелепость или варварство» [2]. Глубоко неправы вместе с тем и те, кто вообще отрицает перспективность применения математики в истории науки. По словам К. Маркса, «наука только тогда достигает совершенства, когда ей удастся пользоваться математикой» [3]. Математика может использоваться как одно из средств абстракции, анализа и обобщения историко-научных данных.

Один лишь количественный анализ ничего не дает без уяснения качественной определенности исследуемых явлений, *количественный анализ неотделим от качественного.*

В науках о человеке и человеческом обществе (а история науки относится к их числу) применение математических методов ведется на трех уровнях. *Уровень измерения* поставляет значения переменных и основные количественные закономерности, характеризующие объекты анализа. Математическое моделирование, используя данные измерения и закономерности, выявленные на первом уровне, описывает результаты измерения математическими зависимостями (моделями). *На уровне принятия решений* (методы исследования операций, теории игр, сетевые и др.), используя результаты измерения и математические зависимости между переменными, ищут значения переменных, оптимизирующие объекты в направлении, задаваемом целями исследования.

Математические методы, соответствующие трем уровням количественного анализа социальных явлений, в истории науки представлены в разной степени: методы измерения применяются здесь все шире; методы математического моделирования используются в истории науки пока еще редко; методы принятий решений пока, насколько нам известно, не используются вовсе. Оценим далее перспективы применения методов трех указанных уровней количественного анализа в историко-научных исследованиях.

Количественное измерение и история науки

Методы измерения, используемые в социальных науках, имеют одну, статистическую, природу. И различаются они прежде всего лежащими в их основании *индикаторами* (измерителями). Индикаторы, используемые при количественном анализе науки, могут быть подразделены на наукометрические, «социологические» и «экономические». К наукометрическим мы относим *наиболее воспроизводимые количественные индикаторы науки* [4]. Предпосылки воспроизводимого количественного измерения в исследованиях науки создаются тем обстоятельством, что научная деятельность характеризуется фиксированностью продукта труда ученого в научных текстах, имеющих дискретную структуру. В качестве различных наукометрических индикаторов и высту-

пают обычно числа различных элементов массива научных публикаций — журналов, отдельных работ, ссылок, научных терминов и т. д.

«Социологическими» мы называем индикаторы, при определении значений которых в качестве «прибора», дающего «показания», выступают живые люди (респонденты, эксперты). «Социологическими» мы называем эти индикаторы условно, такую природу имеют индикаторы, используемые не только в социологии, но и в психологии, и в социальной психологии.

В качестве «экономических» индикаторов выступают деньги в форме цены товара, заработной платы, ассигнований на исследовательский проект и т. д. Как и для «социологических» индикаторов, измерительным «прибором» здесь являются живые люди, только не выбираемые исследователем респонденты или эксперты, а соответствующий социум. Скажем, цена товара является индикатором латентной переменной «стоимость». Значение этого индикатора устанавливается в результате массовой экспертной оценки с прямым или опосредованным участием всего общества через механизм спрос — предложение. Значения, принимаемые экономическими индикаторами, не зависят от исследователя и в этом смысле объективны.

В историко-научных исследованиях «социологические» и «экономические» индикаторы относительно трудно применимы. Наукометрические же индикаторы здесь вполне применимы. Это применение носит в принципе тем более полный характер, чем в большей мере структура массива научных публикаций, отвечающих исследуемому историко-научному периоду, соответствует современной структуре массива публикаций с его книгами и журналами, аппаратом ссылок и т. д. Чем дальше мы отступаем в глубь веков, тем уже набор наукометрических индикаторов, которые могут быть здесь использованы. Аппарат ссылок в его современном виде существует не более 200—300 лет, и потому наукометрический индикатор «число ссылок» не может быть использован в историко-научных исследованиях, имеющих большую временную глубину. Институт научных журналов существует около 300 лет, и потому наукометрический индикатор «число журналов» может быть использован лишь внутри этого временного интервала и т. д. Наибольшей исторической глубины могут позволить достичь, по-видимому, наукометрические индикаторы, определяемые на уровне отдельных слов, лежащие в основании таких наукометрических методов, как контент-анализ, тезаурусный, сленговый.

Наукометрические исследования историко-научных объектов могут быть трех типов — структурные исследования, исследования стационарных (т. е. не содержащих времени) распределений и исследования стационарных (т. е. содержащих время) распределений. Рассмотрим их последовательно.

Структурные исследования. Наукометрия позволяет построить «слепок» предметной структуры данного участка исследований, данного социума ученых или исследований отдельного ученого. Для этого путем измерения взаимосвязи отдельных исследований или их фрагментов воссоздается наукометрическими средствами сеть связей этих структурных единиц анализа и далее, с помощью специальных средств структурного анализа (типа факторного или различных видов кластерного анализа), воссоздается искомая предметная структура. При этом могут использоваться самые разные индикаторы — частота соавторства, число ссылок, число сленговых слов. В полученной сети связей относительная значимость (перспективность) проблематики, отождествляемой с данным узлом этой сети, определяется *степенью связанности* этого узла со всей сетью.

Другой мерой значимости данного участка проблематики является определенная по сети связей этого участка *степень структурированности* или координированности исследований. Согласно некоторым данным, в перспективных направлениях уровень координированности исследований превышает таковой по науке в целом. В общем случае следует говорить об оптимальном уровне такой координированности. Таким путем может быть оценена относительная значимость исследований отдельных ученых или отдельных фрагментов исследований отдельного ученого.

Сегодня средства структурного наукометрического анализа пока еще редко используются в историко-научных исследованиях. Сопоставление сетей цитирования с сетями связей, выявленными средствами качественного историко-научного анализа, производят, например, Дж. Бернал [5], Ю. Гарфилд и соавт. [6], А. А. Коренной [7]...

Полученные ими результаты показывают, что число ссылок является достаточно хорошим индикатором взаимовлияния научных работ, позволяющим не только выявлять большую часть связей, различаемых историками науки, но и фиксировать связи, упускаемые ими из виду.

Б. Гриффит и Н. Маллизи [8] проводили исследования науки средствами цитатного структурного анализа на материале так называемых сплоченных групп ученых, возникающих для и во время работы над кардинальными проблемами науки. Конкретно авторы рассмотрели шесть таких групп, в том числе копенгагенскую группу теоретиков квантовой физики во главе с Н. Бором (1920—1934 гг.), группу геттингенских математиков во главе с Д. Гильбертом и Г. Минковским (1896—1910 гг.), коллектив, занимавшийся изучением фагов, во главе с М. Дельбрюком (1947—1958 гг.) и др. Более высокосплоченные группы являлись и более «революционными».

Д. де Б. Бивер и Р. Розен [9] исследовали сеть сотрудничества, характеризующего французское сообщество ученых в XIX в., с помощью наукометрического индикатора «число соавторств».

Сами по себе сети связей, пусть даже описанные средствами теории графов или матричного анализа, дают материал в основном для качественных наблюдений. Именно такой, качественный характер носит в современных историко-научных работах анализ сетей влияния научных работ. Будущее структурных наукометрических историко-научных исследований связано, на наш взгляд, с количественным анализом получаемых «слепок» предметных структур.

Исследования стационарных распределений. Коэффициент взаимосвязи двух стационарных наукометрических распределений, относящихся, например, к разным ученым, является мерой предметной близости этих ученых. Эти распределения могут быть также использованы для выявления значимых (перспективных) участков проблематики. Некоторые данные говорят о том, что более перспективные направления характеризуются распределениями, имеющими более короткие «хвосты».

В качестве примера немногочисленных пока такого рода исследований укажем работу [10], в которой производится сравнение частотных распределений сленговых слов в публикациях А. Эйнштейна и М. Планка, и работу [11], в которой для количественной оценки относительных вкладов А. Эйнштейна и И. Лауба в совместную публикацию используются коэффициенты взаимосвязи работ каждого из соавторов, написанных ими до этой совместной работы, с общей работой.

Исследование нестационарных распределений. По скорости роста во времени значений различных индикаторов, описывающих данное научное направление или коллектив ученых, соотнесенной с общей логистической кривой роста, можно судить о фазе развития, в которой находится данное направление или данный коллектив в исследуемый момент времени, и, следовательно, об их перспективности. По скорости роста во времени наукометрических индикаторов данного ученого, соотнесенной с кривой возрастной динамики научного творчества, можно судить о фазе развития, в которой находится данный ученый в исследуемый момент времени.

Историко-научных работ, в которых изучаются нестационарные наукометрические распределения, относительно много. Индикаторы при этом используются самые разные. Т. И. Райнов [12] в работе, выполненной в 1929 г., использовал индикатор «число открытий» для анализа временной динамики развития физики в Западной Европе в XVIII—XIX вв. В работе [13] в основу положен индикатор «число важных достижений». Д. Прайс [14] исследовал временную динамику числа научных журналов за 300 лет их существования. В работах [15—17] изучается временная динамика числа кандидатов (докторов — в терминологии, принятой за рубежом) наук. Рост во времени доли работ, написанных определенным числом соавторов, изучается в работе [14]. Л. Новый и Я. Фолта [18] и У. Менард [16] дают графики, описывающие временную динамику числа публикаций. Зависимость от времени числа ссылок, включая так называемое старение публикаций, исследуется в работах [14, 16, 19, 20]. Знаменитый теперь уже график, показывающий зависимость числа известных химических элементов от времени, дает Дж. Холтон [21]. Не менее знаменитая благодаря Д. Прайсу зависимость от времени энергии элементарных частиц, достигаемой в ускорителях, приводится в руководстве [22] и т. д.

Основным результатом всех этих работ явилась концепция экспоненциально-логистического роста науки, предложенная Д. Прайсом, которая является сегодня неотъемлемой составной частью представлений о развитии науки.

Зависимость числа открытий от возраста ученого, в котором они делаются, на историко-научном материале рассматривали П. И. Вальден [23], Г. Леман [24] и др. Зависимость числа публикаций от возраста ученого дает Я. Влахи [25]. Основным результатом этих и им подобных исследований является вывод, согласно которому в творчестве ученого имеет место пик активности, тем более явно выраженный, чем более крупными достижениями ограничивается выборка. Так что зависимость числа публикаций от возраста ученого практически не обнаруживает никакого пика. Пик творчества ученого тем более смещен к началу творческой деятельности, чем в более абстрактных науках (математике, теоретической физике) он работает.

Л. Новый и Я. Фолта [18] приводят временную динамику среднего возраста математиков к моменту опубликования первой работы. Используемые ими историко-научные данные охватывают 300 лет. Налицо тенденция к омоложению, объясняющаяся, по-видимому, тем, что за истекшие 300 лет занятия наукой из «хобби» превратились в профессию.

В целом возможные применения наукометрических методов в историко-научных исследованиях в принципе те же, что и при анализе современной научной деятельности, т. е. в науковедении. Можно сослаться в этой связи на указанную выше монографию по наукометрии [4], а также на журнал «Scientometrics». И если наукометрические методы пока еще проникают в историю науки недостаточно быстро, то это объясняется не «неподатливостью» историко-научного материала, но, на наш взгляд, не в последнюю очередь инерцией мышления историков науки, не спешащих перенимать на вооружение наукометрические методы и довольствующихся традиционными методами качественного историко-научного анализа.

Математическое моделирование и история науки

Методы математического моделирования могут, по-видимому, использоваться на историко-научном материале столь же эффективно, как и на современном, науковедческом. Даже, быть может, более эффективно, поскольку история науки предоставляет более широкие возможности для развития временных математических моделей.

Из математических моделей, имеющих историко-научное значение, упомянем модель Л. Гартмана [26], который выводит уравнение логисты для роста научной информации, основываясь на ряде идей, заимствованных из кинетической теории газов. Ф. Мюллер [27] описывает динамику роста научного знания в терминах числа решенных проблем системой дифференциальных уравнений типа Вольтерра. Г. Р. Иваницкий [28] для описания пульсирующего процесса развития науки выписывает нелинейную систему дифференциальных уравнений, учитывающую взаимодействие разных областей науки. М. Лайн [29] предлагает модель, где простыми зависимостями связываются значения индикаторов, которые в совокупности определяют старение публикаций, рассматриваемое в терминах цитирования. Д. Крафт и Р. Полачек [30] строят систему дифференциальных уравнений, описывающую динамику роста и старения научных публикаций, в которой, как и М. Лайн, работают на индикаторном уровне.

Все названные модели — временные. Стационарные математические модели пока что, насколько нам известно, в историко-научных работах не используются. Да и нестационарные применяются крайне редко. Между тем сегодня наработано достаточно большое количество математических моделей науки, стационарных и нестационарных (см., например, обзорные и монографические исследования [31—35]), которые могут быть использованы и на историко-научном материале.

Принятие решений

На методы принятия решений в исследованиях науки выпадает задача управления исследованиями с использованием количественных методов. Здесь могут быть выделены методы исследования операций, теории игр, сетевые, методы оценки альтернатив, методы определения средств достижения цели.

Методы принятия решений пока, как уже отмечалось, в истории науки не используются. И это на первый взгляд может показаться оправданным. В самом деле: какие решения можно принимать в отношении уже свершившихся фактов? Однако, как нам представляется, если количественная теория принятия решений, по-видимому, не может быть полезной для истории науки, то обратное неверно: *история науки может оказаться полезной для теории принятия решений*. Действительно, эти методы в их сегодняшнем состоянии крайне нуждаются в апробации и корректировке в условиях, аналогичных тем, в каких апробируются и корректируются, скажем, физические теории, т. е. в эксперименте. Однако социальный эксперимент по ряду причин чрезвычайно затруднен. Материалы истории науки предоставляют между тем возможности для апостериорной проверки методов принятия решений. Если приложить данный метод принятия решений к конкретной историко-научной ситуации, абстрагируясь поначалу от дальнейшего хода событий, и выработать с его помощью решение или оценить сравнительную эффективность нескольких решений, то этот дальнейший ход событий, включенный теперь в анализ, и позволит сравнить даваемые методом рекомендации с принятыми в действительности решениями, соотнесенными с их эффективностью. Таким образом, история науки предоставляет возможность для проведения социального эксперимента, обращенного как бы назад во времени и не менее эффективного, чем «нормальный», проводящийся на натуре.

О проблемах применения количественных методов в истории науки

Если количественные методы проникают сегодня в историко-научные исследования недостаточно быстро, то это объясняется, конечно, не только инерцией мышления историков науки, традиционно использующих качественные методы анализа, но и существованием определенных проблем, связанных с таким применением математики в истории науки. Об этих проблемах, являющихся проекциями общих проблем количественного анализа науки, мы и скажем далее несколько слов.

Важнейшей такой проблемой здесь, как и в других социальных науках, является проблема *валидности* измерения. О чем идет речь? В теории измерения выделяются переменные двух типов — *индикаторы* (непосредственно наблюдаемые величины — число публикаций, число ссылок и т. д.) и *латентные переменные* (ненаблюдаемые переменные, фиксируемые в сознании субъекта измерения, — «продуктивность ученого», «научный вклад ученого» и т. д.). Индикаторы лишь косвенно характеризуют латентные переменные. Значения индикаторов со значениями латентных переменных связывают *метрические модели* (Л. Гуттмана, Р. Ликерта, П. Лазарсфельда, факторного анализа, многомерного шкалирования и др.). Однако проблема соотнесения индикатора с латентными переменными остается сегодня центральной в теории социального измерения. Остается центральной она и в науковедении. Центральной она является и для историко-научного измерения. У нас нет сегодня критериев валидности измерения, т. е. того, в какой степени значения индикаторов соответствуют значениям латентных переменных, которые они косвенно характеризуют. У нас пока нет способов соотнесения этих двух видов переменных, существующих в разных «плоскостях» используемого исследователем аппарата.

Второй проблемой количественного анализа науки является проблема *неаддитивности* многих данных измерения, т. е. неприменимость к таким данным операции сложения и, следовательно, существенной части используемой сегодня в исследованиях науки математики.

Третья проблема — проблема *негауссовости* аддитивных данных измерения, т. е. неприменимость к таким данным используемой сегодня гауссовой математической статистики моментов.

Указанные проблемы сложны и пока что не имеют общепринятого решения. О некоторых подходах к этим проблемам см., например, работы [4, 36]. Ясно, что историки науки не могут сами решать все эти проблемы хотя бы потому, что не располагают необходимыми для этого кадрами. Однако участвовать в решении этих проблем они могут и должны. В чем может состоять это участие?

Мы видели, что во многих случаях историко-научный материал позволяет «обка- тывать» те или другие методы измерения, математического моделирования или приня- тия решений. В ряде случаев такая «обкатка» уже практически производится. Доста- точно напомнить, что концепция экспоненциально-логистического роста науки в прин- ципе не могла бы возникнуть без использования историко-научного материала. В по- ставке материала для эмпирической проверки и корректировки количественных мето- дов анализа науки и может состоять «пай» истории науки в решении общих проблем количественного анализа науки. История науки не останется при этом в накладе: раз- работанные и апробированные таким образом количественные методы могут быть в свою очередь использованы непосредственно в историко-научных целях.

Но, допустим, мы решили названные проблемы. Определенные ограничения в исто- рии науки, как и в социальных исследованиях вообще, накладывает вероятностная природа рассматриваемых здесь явлений, обуславливающая необходимость статисти- ческой трактовки получаемых количественных результатов. Практически это означает, что эти результаты могут быть достаточно достоверными лишь применительно ко всей выборке объектов измерения, но не к каждому из них по отдельности. Это обстоятель- ство иногда вызывает незаслуженную, на наш взгляд, критику в адрес наукометриче- ских [37] и других количественных методов анализа науки. Критиковать эти методы сегодня можно за многое, но только не за вероятностный их характер, в котором «по- винны» исключительно объекты анализа. Это необходимо учитывать на всех стадиях количественного анализа — от выбора достаточно валидных индикаторов до принятия решений. И если мы хотим получить надежные результаты, например, на уровне от- дельного ученого, то со статистическими погрешностями можно бороться двумя путя- ми. Первый — выбирать достаточно «дробный» индикатор, так чтобы каждый ученый был охарактеризован достаточно большой выборкой данных. Перспективным в этой связи представляется индикатор «число сленговых слов» [4], поскольку в каждой на- учной статье содержится порядка 1000 таких слов, что уже само по себе в состоянии обеспечить хорошую статистическую достоверность. Второй путь — брать взвешенную сумму нескольких индикаторов, так чтобы статистические погрешности разных инди- каторов «гасили» друг друга. Установление «весов» индикаторов составляет сегодня одну из главных задач количественного анализа науки.

Количественные методы анализа науки являются в настоящее время во многом методами анализа *научной деятельности*, т. е. собственно науковедческими. Дальней- шее развитие истории науки, бесспорно, связано с усилением акцента на анализ раз- вития науки именно как специфического вида *деятельности*. Расширение использова- ния историками науки количественных методов анализа научной деятельности нахо- дится, таким образом, в русле этой общей тенденции развития истории науки.

Литература

1. *Thackray A.* Measurement in historiography of science//*Toward a Metric of Science. The Advent of Science Indicators.* N. Y.: Wiley, 1978. P. 11—30.
2. *Маркс К., Энгельс Ф.* Соч. 2-е изд. Т. 1. С. 638.
3. Воспоминания о Марксе и Энгельсе. М.: Госполитиздат, 1956. С. 66.
4. *Хайтун С. Д.* Наукометрия: состояние и перспективы. М.: Наука, 1983.
5. *Bernal J. D.* Science and Industry XIXth Century. L., 1953.
6. *Garfield E., Sher I. H., Torpic R. J.* The Use of Citation Data in Writing the History of Science. Philadelphia: ISI press, 1964.
7. *Коренной А. А.* Методы и опыт исследования информационных связей в научных системах//Материалы по науковедению. Киев: СОПС УССР. 1971. Вып. 16. С. 3—70.
8. *Гриффит Б. Ч., Маллинз Н. Ч.* Социальные группировки в развитии науки//Комму- никация в современной науке. М.: Прогресс, 1976. С. 131—151.
9. *Beaver D. de B., Rosen R.* Studies in scientific collaboration. Part I. The professional origins of scientific co-authorship//*Scientometrics.* 1978. V. 1. P. 65—84; Part II. Sci- entific co-authorship research productivity and visibility in the french scientific elite// *Scientometrics.* 1979. V. 1. P. 133—149.
10. *Хайтун С. Д.* Об одной из методик изучения научной биографии. (На материале публикаций Планка и Эйнштейна.)//Человек науки. М.: Наука, 1974. С. 214—228.
11. *Хайтун С. Д.* О возможностях наукометрического исследования соавторских публи- каций//Проблемы деятельности ученого и научных коллективов. М.; Л.: Наука, 1979. Вып. 7. С. 303—308.

12. Райнов Т. Н. Волнообразные флуктуации творческой продуктивности в развитии западно-европейской физики XVIII—XIX веков//Вопр. истории естествознания и техники. 1983. № 2. С. 63—80.
13. Zhao-Hong-Zhou. An intelligence constant of scientific work//Scientometrics. 1984. V. 6. P. 9—17.
14. Прайс Д. Малая наука, большая наука//Наука о науке. М.: Прогресс, 1966. С. 281—384.
15. Добров Г. М. Наука о науке. Введение в общее науковедение. Киев: Наук. думка, 1970.
16. Menard H. W. Science: Growth and Change. Cambridge (Mass.), 1971.
17. A Century of Doctorates: Data Analysis of Growth and Change. Wash.: NAS, D. C., 1978.
18. Новый Л., Фолта Я. О применении количественных методов в исследованиях по истории математики//Анализ тенденций и прогнозирование научно-технического прогресса. Киев: Наук. думка, 1967. С. 235—262.
19. Прайс Д. Система научных публикаций//Успехи физ. наук. 1966. Т. 90. С. 347—359.
20. Vlachy J. Physics journal in retrospect and comparison//Czechoslov. J. Phys. 1970. V. B20. P. 501—526.
21. Holton G. Scientific research and scholarship: Notes toward the design of proper scales//Proc. Amer. Soc. Arts and Sci. (Daedalus). 1962. V. 31. P. 362—399.
22. Livingston M. J., Blewett J. P. Particle Accelerators. N. Y.: McGraw-Hill, 1962.
23. Наука сегодня. М.: Мол. гвардия, 1969.
24. Lehman H. C. Age and Achievement. Princeton (N. J.): Princeton Univ. press, 1953.
25. Vlachy J. Remarks on the productivity age//Teor. a metoda. 1970. V. 2. S. 121—150.
26. Hartman L. Technological forecasting//Multinational Corporate Planning. N. Y.: Crowell-Collier, 1966.
27. Müller F. Fortschritt der Wissenschaft-Mathematisch modelier//Wiss. und Fortschritt. 1972. B. 22. S. 162—165.
28. Иваницкий Г. Р. Пульсирующий процесс развития науки//Природа. 1982. № 1. С. 14—21.
29. Line M. B. The half-life of periodical literature: apparent and real obsolescence//J. Doc. 1970. V. 26. P. 46—54.
30. Kraft D. H., Polacsek R. A. Biomedical literature dynamics//Methods of Inform. in Medicine. 1974. V. 13. P. 242—248.
31. Идлис Г. М. Математическая теория НОТ и оптимальная структура НИИ. Алма-Ата: Наука, 1970.
32. Stochastic Processes in Sociology. Keele: Univ. of Keele press, 1973.
33. Брусиловский Б. Я. Математические модели в прогнозировании и организации науки. Киев: Наук. думка, 1975.
34. Яблонский А. Н. Модели и методы математического исследования науки: Научно-аналитический обзор. М.: ИНИОН АН СССР, 1977.
35. Комков Н. И. Модели управления научными исследованиями и разработками. М.: Наука, 1978.
36. Haitun S. D. Problems of quantitative analysis of scientific activities: Non-additivity of data. Part I. Statement and solution//Scientometrics. 1986. V. 10. P. 3—16; Part II. Corollaries//Scientometrics. 1986. V. 10. P. 133—155.
37. Быков Г. В., Павлова Л. Б. О возможностях и ограничениях применения наукометрических подсчетов в истории науки//Вопр. истории естествознания и техники. 1985. № 2. С. 63—73.