

Изучение ресурсной обеспеченности российских школ с помощью методов, основанных на решетках понятий

Игнатов Дмитрий Игоревич, *НИУ ВШЭ*
Хавенсон Татьяна Евгеньевна, *НИУ ВШЭ*

В области изучения образования (educational studies) существует несколько крупных международных проектов по изучению качества школьного образования. Один из этих проектов — международное исследование по оценке качества математического и естественнонаучного образования TIMSS (Trends in Mathematics and Science Study), осуществляемое Международной Ассоциацией по оценке учебных достижений IEA (International Association for the Evaluation of Educational Achievements). Исследование проводится с 1995 года, раз в 4 года, в исследовании принимают участие около 60 стран мира (волна 2007 г.). Изучается подготовка выпускников начальной школы (4 класс) и учащихся 8 классов.

По результатам этих исследований оценивается качество общего образования в стране в целом, ее положение относительно других стран, изучается ход образовательных реформ и т.д. Помимо оценки знаний школьников в исследовании собирается большое количество контекстной информации как по ученикам (социально-экономическое положение семьи, отношение к учебе и т.п., проводится также опрос родителей), так и по школам (оснащенность школы различными ресурсами важными для учебного процесса, роль различных органов власти, администрации, учителей и родителей в жизнедеятельности школы, правила и принципы существования школы, школьный климат и т.д.). На вопросы анкет второй группы отвечает директор или другой администратор школы.

В нашей работе мы исследуем, насколько школам хватает или не хватает различных ресурсов для ведения образовательной деятельности. Ключевой вопрос: влияет ли на учебный процесс несоответствие современным требованиям или недостаточное количество... (варианты ответа: Совершенно не влияет / Мало влияет / Влияет в некоторой степени / Влияет значительно). Список ресурсов: канцелярские товары; учебные материалы; компьютеры и компьютерное программное обеспечение; школьные здания и территории; системы отопления и освещения; аудиовизуальные пособия; книги в библиотеке и др.

Обычно на основе этих вопросов строят индекс ресурсообеспеченности, который принимает три значения: высокий, средний и низкий уровень и смотрят связь с достижениями. Достаточное количество исследований показывает, что в большинстве стран нет сильной связи между ресурсами школы и достижениями учеников.

Например, график на рисунке 1 показывает распределение достижений в школах с разным уровнем ресурсообеспеченности в некоторых странах Восточной Европы и постсоветских республиках¹. Видно, что особой связи нет. В противном случае, ученики хорошо обеспеченных школ показывали бы результаты выше, чем ученики среднеобеспеченных, а те в свою очередь выше, чем ученики плохо оснащенных школ. Мы наблюдаем такую картину только для Венгрии и России, тогда как сравнение средних значений показывает, что статистически эти различия незначимы. Однако в описании TIMSS 2007 сказано, что в целом учащиеся школ с более высоким индексом оснащенности имеют лучше результаты².

Оба приведенных выше примера рассматривают связь на агрегированном уровне, во-первых, по странам, во-вторых, ответы респондентов об обеспечении ресурсами сведены в один индекс. Нам представляется интересным выяснить, существуют ли некоторые ресурсы, являющиеся более значимыми для реализации учебного процесса. Нам кажется, что для решения этой задачи необходимо исследовать исходные данные, то есть ответы респондентов на вопросы о каждом ресурсе в отдельности, и выделить среди них важные ресурсы и/или их сочетания. Наше исследе-

¹ Тюменева Ю.А., Хавенсон Т.Е. Тренды некоторых показателей образовательных систем в странах Восточной Европы и достижения школьников в TIMSS и PISA: Доклад на семинаре «Актуальные исследования и разработки в области образования», ИРО ГУ–ВШЭ, ноябрь 2010.

² Mullis I.V.S, Martin M.O., Ruddock G.J., O'Sullivan C.Y., Arora A., Erberber E. TIMSS 2007 Assessment Frameworks. Boston: TIMSS & PIRLS International Study Center et al., 2005. P. 86.

дование проходит в два этапа. Сначала мы исследуем данные об обеспечении ресурсами агрегировано по странам, а затем только данные по российским школам, где каждый показатель описывает школу. Таким образом, мы сможем выявить группы стран или школ, которые испытывают или не испытывают проблем с одними и теми же ресурсами, а также найти сочетания ресурсов, нехватка которых сопряжена друг с другом.

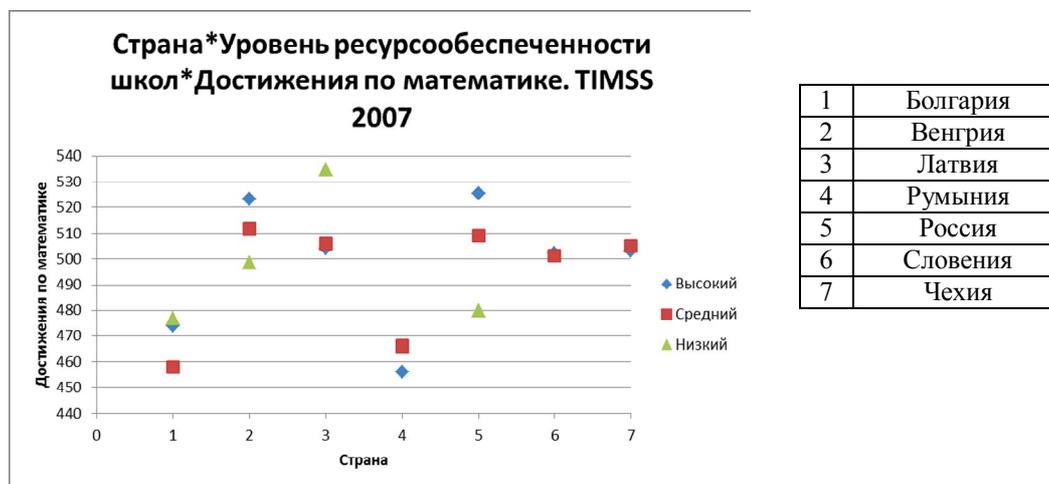


Рис. 1. Связь между уровнем оснащённости школы и достижениями по математике в TIMSS 2007.

Метод исследования

Предлагаемый нами подход основан на анализе формальных понятий (АФП), алгебраической дисциплине представляющей собой прикладную ветвь теории решеток и нашедшей широкое применение в анализе объектно-признаковых данных¹.

АФП и ранее применялся в социологических исследованиях, в частности, в анализе социальных сетей с помощью решеток понятий², при выявлении эпистемических сообществ и построение их таксономии³, для изучения групп посетителей Интернет-ресурсов⁴, в анализе опросных данных⁵.

Суть применения АФП состоит в том, что в полученных результатах опросов респонденты могут быть рассмотрены как объекты, а ответы на вопросы анкет как признаки, которыми они обладают. По этим данным выявляется множество групп объектов, обладающих общими признаками. Далее на множестве таких пар вида (объекты, признаки), называемых формальными понятиями, задается частичный порядок по отношению вложения первой компоненты. Это отношение является частичным порядком и определяет т.н. решетку понятий. Граф покрытия этого отношения удобно использовать для визуализации выявленных групп, что дает возможность исследователю сделать выводы об их размерах, пересечениях, общих признаках и наличии некоторых других закономерностей. Помимо выделения групп респондентов и их визуализации,

¹ Ganter B., Wille R. Formal Concept Analysis: Mathematical Foundations. Berlin: Springer, 1999.

² White D.R., Duquenne V. Social network & discrete structure analysis: Introduction to a special issue // Social Networks. 1996. Vol. 18. P. 169–172; Freeman L. Cliques, Galois lattices, and the structure of human social groups // Social Networks. 1996. Vol. 18. P. 173–187.

³ Roth C., Obiedkov S., Kourie D.G. Towards Concise Representation for Taxonomies of Epistemic Communities // LNCS. 2008. Vol. 4923. p. 240–255.

⁴ Кедров С.А., Кузнецов С.О. Исследование групп пользователей Интернет-ресурсами методами анализа формальных понятий и разработки данных (Data Mining) // Бизнес-информатика. 2007. №.1. С. 45–51; Kuznetsov S.O., Ignatov D.I. Concept Stability for Constructing Taxonomies of Web-site Users // Proc. Satellite Workshop «Social Network Analysis and Conceptual Structures: Exploring Opportunities» at the 5th International Conference Formal Concept Analysis (ICFCA'07). Clermont-Ferrand, 2007. P. 19–24.

⁵ Игнатов Д.И., Кононыхина О.Н. Решетки формальных понятий для анализа данных социологических опросов // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: Сборник научных трудов V Международной научно-технической конференции (Коломна, 20–30 мая 2009 г.). В 2-х томах. Т 1. М.: Физматлит, 2009.

АФП предоставляет возможность поиска признаков зависимостей в виде импликаций, что позволяет делать выводы о взаимосвязи исследуемых социальных явлений.

Анализ формальных понятий используется для обнаружения и исследования изначально присутствующей в данных информации. В терминах теории формальных понятий сформулированы разнообразные методы анализа данных, такие как поиск ассоциативных правил и машинное обучение на основе положительных и отрицательных примеров и др.

В АФП предпринята попытка математически формализовать наиболее простую единицу человеческого мышления — понятие. «Формальное понятие» (formal concept) характеризуется объемом и содержанием. Объем понятия — это множество объектов, которые подпадают под понятие, а содержание — общее описание всех таких объектов.

Исходные объектно-признаковые данные в АФП описываются с помощью формальных контекстов. Запись $K = (G, M, I)$ обозначает формальный контекст (formal context), где G — изучаемые объекты (в нашем случае школы или страны), M — их свойства (в нашем исследовании используемые ресурсы), и I — бинарное отношение между ними (установление факта, что определенный объект обладает определенным свойством, например, есть или нет в школе/стране нехватка данного ресурса)¹. **Формальный контекст** может быть представлен в виде объектно-признаковой таблицы.

Таблица 1

Формальный контекст «Обеспеченность ресурсами школ по странам за 2007 год»

id	Страна	Учебные мат.	Канц. товары	Здания, террит.	Отопление	Помещения для занятий	Аудиовиз. ресурсы	Компьютеры	ПО	Книги в библи.
1	Литва	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	Россия	0	0	0	1	0	1	1	1	0
3	Болгария	0	1	1	0	0	1	1	1	1
4	Венгрия	0	1	0	0	0	1	1	1	0
5	Румыния	1	1	1	0	0	1	1	1	1
6	Словения	0	0	0	0	0	1	1	1	0
7	Чехия	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Формальное понятие формального контекста (G, M, I) — это пара (A, B) , где A — это подмножество объектов из G (т.е. некоторая часть исходной выборки), а B — это подмножество признаков из M , при этом A — это в точности все объекты, обладающие всеми признаками из B , а B , в свою очередь, — в точности множество всех признаков, которыми обладают все объекты из A . A называется объемом формального понятия, B — содержанием.

В нашем случае формальное понятие группирует (в своем объеме) страны или школы, которые испытывают проблемы с нехваткой одних и тех же ресурсов, и (в своем содержании) те ресурсы, по которым нехватка у разных стран/школ одинакова.

Решетка понятий. Понятия, упорядоченные по отношению «быть более общим понятием чем»², образуют алгебраическую структуру, называемую *решеткой*. Решетку понятий обычно изображают при помощи линейной диаграммы (диаграммы Хассе): (1) более общие понятия помещаются над менее общими; (2) два понятия соединяются линией, если одно из них является более общим, чем другое и нет понятия, которое было бы одновременно менее общим, чем первое понятие, и более общим, чем второе понятие. Узлы диаграммы часто снабжаются метками, с помощью которых можно оценить размеры объема и содержания понятий, понять какие объекты и признаки образуют понятие и т.п.

¹ Wille R. Communicative Rationality, Logic, and Mathematics // Medina R., Obiedkov S. (eds.). Formal Concept Analysis – 6th International Conference, ICFA 2008, Montreal, Canada, February 25-28, 2008, Proceedings. Vol. 4933. Berlin; Heidelberg: Springer, 2008. P. 1–13; Ganter B., Wille R. Applied Lattice Theory: Formal Concept Analysis. Dresden: TU Dresden, 1997. P. 1.

² Формальное понятие (A, B) является *более общим*, чем понятие (C, D) , если C является собственным подмножеством A , то есть под понятие (A, B) попадают все объекты, которые подпадают под (C, D) и некоторые другие.

На рис. 2 каждый узел диаграммы — это формальное понятие, названия стран под узлом показывает, что данная страна (объект) принадлежит объему этого понятия и всем более общим понятиям (когда объектов много тут отображается число объектов в понятии, но не перечисляются их имена). Содержание понятия включает в себя признаки, указанные при соответствующем узле на диаграмме, а также при всех узлах, расположенных ниже на диаграмме решетки (т.е. при более частных понятиях). Самый верхний узел диаграммы — формальное понятие, включающее в себя все множество объектов G (как правило, с пустым содержанием, так как нет такого признака, которым бы обладали все объекты).

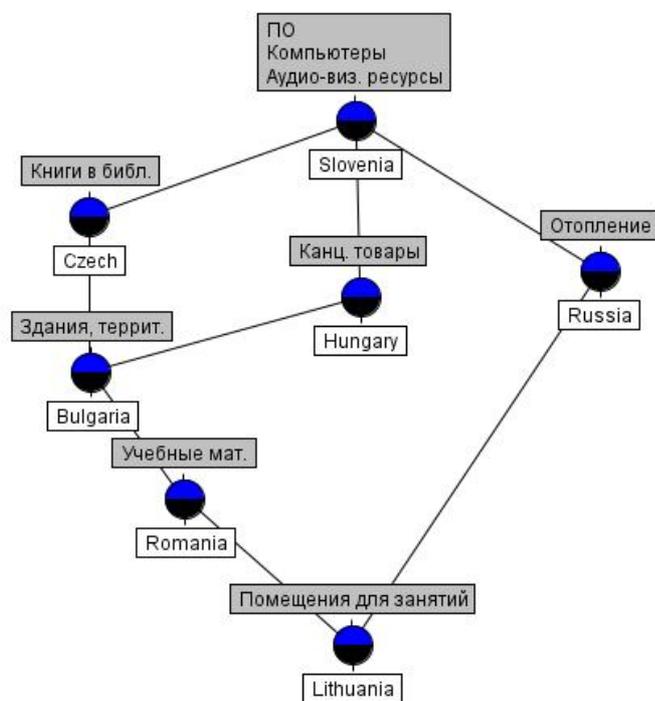


Рис. 2. Пример диаграммы решетки понятий с сокращенными пометками. Данные за 2003 год

Довольно очевидно, что даже для небольшого формального контекста количество порожденных формальных понятий может быть значительным (например, $2^{|G|}$ или $2^{|M|}$ в худшем случае). Существуют различные способы отбора наиболее устойчивых и релевантных понятий, которые упрощают работу с данными, в частности облегчают визуализацию. При этом, оставляя только устойчивые понятия, мы отбираем только наиболее релевантные понятия, устойчивые к шуму. Наиболее устойчивые понятия отбираются на основе порога на индекс устойчивости понятия (число от 0 до 1, задаваемое аналитиком). Его можно выразить через вероятность сохранения содержания понятия при удалении из его объема одного или нескольких объектов. То есть, понятие устойчиво, если его объем не сильно зависит от подмножеств своих объектов.

Также важным аспектом в применении метода является процесс преобразования исходных данных в дихотомические; такой процесс в терминах АФП называется шкалированием. Вопрос о том, каким образом шкалировать данные, является скорее содержательным, чем техническим. Также необходимо учитывать тип исходных данных (номинальные, порядковые, и др.) и другие свойства, которые важны исследователю. В данном случае, мы преобразовали исходную 4-балльную шкалу в дихотомическую. Если респондент отвечал, что нехватка определенного ресурса «Совершенно не влияет» на качество учебного процесса в школе, то ему присваивалось значение 0, если отвечал «Мало влияет», «Влияет в некоторой степени» или «Влияет значительно», — значение 1. Таким образом, мы не учитывали изначально порядковую природу данных, но зато получили простые и легко интерпретируемые результаты. Мы полагаем, что в случае применения данной группы разведывательных методов анализа данная такая стратегия от простого к сложному наиболее приемлемая.

В качестве программного средства использовалась программа Concept Explorer, дополненная внешними утилитами для преобразования данных, шкалирования и вычисления устойчивости.

Предварительные результаты

Опишем первые результаты на примере данных за 2007 год¹ (рис. 3 и таблица 1). В связи с небольшим количеством объектов и признаков, итоговая решетка содержит только 7 формальных понятий, поэтому они все отображены на диаграмме.

Самое верхнее понятие диаграммы – ({Словения}, {ПО, Компьютеры, аудио-визуальные ресурсы}), то есть Словения из всех изучаемых стран наиболее благополучна, словенские школы в целом испытывают затруднения только с этими тремя типами ресурсов. То, что эти ресурсы расположены сверху, в самом общем понятии, означает, что эти признаки свойственны² всем рассматриваемым странам. Спускаясь вниз по диаграмме, можно заметить, что далее страны делятся на три типа: первый — Россия, в которой к перечисленным выше трем проблемам добавляется проблема с отоплением, второй — Чехия, с нехваткой книг в библиотеках, и третий — Венгрия, с проблемой обеспечения школ канцелярскими товарами. Далее Венгрия и Чехия объединяются в понятие, которое формально можно записать так: ({Словения, Венгрия, Чехия, Болгария}, {ПО, компьютеры, аудио-визуальные ресурсы, книги в библиотеках, канцелярские товары}).

Все признаки «скапливаются» в содержании самого нижнего понятия, в объеме которого только одна страна — Литва. Это говорит о том, что в Литве наблюдается самая неблагоприятная картина с точки зрения ресурсной обеспеченности школ. Для сравнения, в 2003 году таких стран было значительно больше: Словакия, Румыния, Болгария, Россия и Литва.

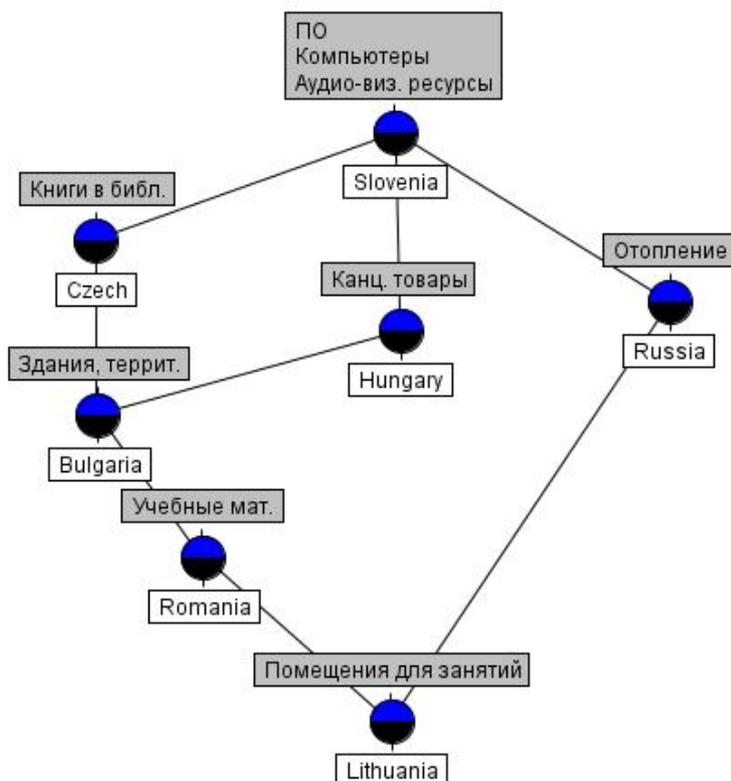


Рис. 3. Решетка понятий для контекста о ресурсной обеспеченности школ по странам в 2007 г.

Опишем дальнейшие возможности исследования с применением методологии АФП. После выделения таких классов объектов, можно продолжать интерпретацию, описывая их с помощью других признаков (переменных). Причем, при большем количестве объектов, классы по-

¹ Диаграмма для 2003 года изображена на рис. 2.

² Напомним, что фраза «объект обладает таким-то признаком» или «объекту свойственен такой-то признак» в нашем случае означает, что школа испытывает затруднения с данным ресурсом.

лучаются более наполненными, а их интерпретация становится более сложной. Можно сказать, что возникают две взаимосвязанные классификации объектов (стран) и признаков (ресурсов).

Следующим этапом нашего исследования будет рассмотрение российских школ в качестве объектов и несколько расширенного списка ресурсов. Мы предполагаем использовать техники отбора релевантных понятий по размеру объема понятия, индексу устойчивости и некоторые другие. Для поиска «сильных» признаковых зависимостей предполагается использовать т.н. импликация — признаковые зависимости вида $A \rightarrow B$ (наличие признаков A у объектов влечет наличие признаков B).

Таким образом, нами продемонстрирована возможность проведения социологического исследования с помощью средств *Анализа Формальных Понятий*. Полученные диаграммы и выводы свидетельствуют о том, что данный метод и поддерживающие его программные средства потенциально полезны при анализе социологических данных опросного характера.

Социологическое измерение инновационной активности с использованием психофизиологических шкал

Кутенков Рудольф Петрович,
Институт аграрных проблем РАН

Предлагается единый методологический подход к математическому моделированию и социологическому оцениванию процессов распространения инноваций. Известно, что социологическое измерение можно определить как многоуровневый процесс, который включает представление изучаемого объекта в виде системы одномерных характеристик (индикаторов), доступных количественной оценке, последующее их измерение и объединение полученных значений с целью получения оценки объекта в целом. Представляет интерес, что, несмотря на наличие общетеоретических разработок по теории измерений (квалиметрии¹), измерения в конкретных областях знаний имеют различный уровень теоретической обоснованности и практической значимости.

В частности, методология и методика социологических измерений, хотя и не представляет к настоящему времени завершенной теории (этот вопрос достаточно подробно обсуждался в трудах докторов наук Ю.Н. Толстовой, Г.Г. Татаровой²), но дает ряд хорошо зарекомендовавших себя на практике рецептов построения оценок с помощью шкал, графов, проективных технологий и других специфических приемов³.

Близкие по содержанию вопросы рассматриваются в теории психофизиологических измерений⁴. Используемые в этой теории подходы, основанные на использовании лингвистических переменных (переменная, которая может принимать значения понятий (фраз) и использоваться при описании объектов и явлений с помощью нечетких множеств⁵) и шкал, устанавливающих соответствие между значениями лингвистической переменной и некоторых психофизиологических параметров (чувств) коммуникантов (респондентов) по сути аналогичны описанным выше подходам социологических измерений. Лингвистические шкалы и их оцифровки используются в последнее время достаточно широко, в том числе, в областях, близких к социологии. В числе сфер применения, как показывает анализ, можно отметить методы оценки уровня социально-экономического развития региона, оптимизации маркетингового бизнеса, оценки инвестиционных проектов, построения интегрального показателя конкурентного статуса предприятия, формирования универсальной шкалы оценки уровня его экономической безопасности и оценки добротности социального партнерства. Несмотря на столь широкие пересечения, методы пси-

¹ Калейчик М.М. Квалиметрия: Учебное пособие. М.: МГИУ, 2007.

² См., например, Толстова Ю.Н. Анализ социологических данных. Методология, дескриптивная статистика, изучение связей между номинальными признаками. М. Научный мир, 2000; Татарова Г.Г. Методология анализа данных в социологии. М.: NOTA BENE, 1999.

³ См., например, Ядов В.А. Стратегия социологического исследования: Описание, объяснение, понимание социальной реальности. М.: Добросвет, 2003.

⁴ Безруких М.М., Фарбер Д.А. Психофизиология: Энциклопедический словарь. М.: ПЭР СЭ, 2006.

⁵ Лингвистический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1990.