

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

А.Б. Петровский (*pab@isa.ru*),

Г.В. Ройзензон (*rgv@isa.ru*)

Институт системного анализа РАН, г. Москва

А.В. Балышев, И.П. Тихонов, Э.Н. Яковлев

Экспертно-аналитический центр Министерства образования и
науки Российской Федерации, г. Москва

В работе изложен подход к многокритериальной экспертной оценке и анализу эффективности деятельности научных организаций, выполняющих фундаментальные исследования, который использует методы группового вербального анализа решений. Проведена апробация подхода на модельной базе экспертных оценок деятельности научных организаций.

Введение

Эффективность деятельности научной организации представляет собой достаточно сложное понятие, которое можно характеризовать разнообразными количественными и/или качественными факторами различной природы. При этом требуемая информация о разных областях деятельности организации может быть получена, главным образом, по результатам экспертизы. Подавляющее большинство известных подходов к оценке эффективности деятельности научных организаций, выполняющих фундаментальные исследования, связано с проведением громоздких и трудоемких вычислений сотен числовых показателей и/или весовых коэффициентов, оценённых многими экспертами [Камбаров и др., 2007]. Часто подобная экспертная информация сворачивается в один или несколько числовых обобщенных показателей (индексов) эффективности по некоторой формуле без каких-либо обоснований или объяснений. Однако в случае качественных экспертных данных подобные операции невозможны. Поэтому необходимы другие подходы к оценке эффективности деятельности.

В работе представлен новый подход к многокритериальной экспертной оценке и анализу эффективности деятельности научной организации. Оценка эффективности деятельности рассматривается как задача группового упорядочения многопризнаковых объектов. Предлагаемая

методология основана на оригинальных методах вербального анализа решений [Ларичев, 2006], [Петровский, 2009], которые позволяют оперировать с качественной (вербальной) информацией без ее преобразования в числовую форму. Разработанный подход был использован в Экспертно-аналитическом центре Министерства образования и науки России для оценки эффективности научной и финансово-экономической деятельности научных организаций и выбора среди них наиболее эффективных.

Методологический подход

Оценка эффективности деятельности научной организации, выполняющей фундаментальные исследования, является типичной слабоструктурируемой задачей, которая описывается многими качественными признаками. Для анализа эффективности деятельности научных организаций была разработана система качественных критериев с вербальными шкалами, градации оценок которых специфицируют различные аспекты научной и финансово-экономической деятельности организации. Используя эти критерии, несколько экспертов оценивают деятельность рассматриваемой организации.

Многие из известных методов коллективного упорядочения многопризнаковых объектов, таких как анализ иерархий [Саати, 1993], ТОПСИС [Hwang, Lin, 1987] и ряд других, ориентированы на хорошо структурируемые задачи, где используется, в основном, количественная информация. Поэтому такие методы не применимы для качественных признаков. Главные трудности при решении задач групповой ранжировки многопризнаковых объектов связаны с учетом большого числа символьных и числовых данных и обработкой этих данных, не прибегая к дополнительным преобразованиям типа усреднения, смешивания, взвешивания, которые могут привести к необоснованным и необратимым искажениям исходных данных. Также весьма затруднительно обосновать назначение весов критериев, особенно при наличии нескольких экспертов. Количественные методы, использующие свертку многих критериев с применением весовых коэффициентов, не позволяют восстанавливать исходные данные по агрегированным критериям, а значит, фактически не в состоянии дать объяснение полученных решений.

Чтобы оперировать с вербальными данными и оценить эффективность деятельности научной организации, применена оригинальная методология вербального анализа решений [Ларичев, 2006]. В вербальном анализе решений свойства рассматриваемых вариантов и классы решений описываются с помощью качественных критериев, имеющих словесные формулировки градаций на шкалах оценок. Обычно вводится небольшое число таких градаций (3-5), чтобы обеспечить ясную различимость соседних оценок. Даже при небольшом числе градаций оценок на шкалах

критериев оказывается возможным описать достаточно сложные свойства объектов. Численные коэффициенты важности критериев и ценности вариантов не рассчитываются и не применяются, а вербальные оценки признаков не преобразуются в какие-либо числовые показатели. Тем самым, используя только качественные измерения, на множестве кортежей многокритериальных оценок можно задать отношения превосходства и эквивалентности вариантов решения, с помощью которых осуществляется их порядковая классификация, частичное упорядочение или выделение лучшего варианта. Лицо, принимающее решение (ЛПР), активно участвует в постановке, анализе и решении стоящей проблемы. ЛПР может разносторонне и достаточно подробно выражать свои предпочтения, уточнять и корректировать их в ходе решения задачи, генерировать и обосновывать новые варианты решения, а также получать объяснение промежуточных и итоговых результатов.

Групповой вербальный анализ решений расширяет методологию на коллективные решения [Петровский, 2009]. При групповом выборе предпочтения нескольких ЛПР могут быть несовпадающими, а варианты решения могут существовать в нескольких экземплярах, которые характеризуются повторяющимися количественными и/или качественными признаками. Методы группового вербального анализа решений позволяют работать с противоречивой информацией и обеспечивают нахождение рационального решения. В целом вербальные методы более “прозрачны”, мало чувствительны к ошибкам измерения и менее трудоемки для человека. С методологической точки зрения именно вербальный анализ решений наиболее пригоден для оценки эффективности деятельности научных организаций, выполняющих фундаментальные исследования.

Для сортировки научных организаций на основе экспертных оценок эффективности их деятельности, данных несколькими экспертами, использован метод группового упорядочения многопризнаковых объектов АРАМИС (Агрегирование и Ранжирование Альтернатив около Многопризнаковых Идеальных Ситуаций) [Петровский, 2009]. Эффективность деятельности научной организации оценивалась качественным интегральным показателем, градации оценок которого строились с помощью метода ПАКС (Последовательное Агрегирование Классифицируемых Состояний) [Петровский, Ройзензон, 2008] путём сочетания комбинаций вербальных градаций оценок по критериям.

Вербальный анализ решений успешно применялся при решении различных практических задач [Ларичев и др., 1989], [Ларичев и др., 2001], [Петровский, Тихонов, 2008], [Петровский и др., 2010].

Многокритериальная экспертиза научных организаций

Предлагаемая методология была использована при проведении анализа и оценки деятельности научных организаций, выполняющих фундаментальные исследования, на основе многокритериальных оценок нескольких экспертов. Для оценки эффективности деятельности научных организаций, выполняющих фундаментальные исследования, Экспертно-аналитическим центром Министерства образования и науки России совместно с Институтом системного анализа РАН была разработана система критериев, которая содержит 11 качественных критериев, объединенных в две группы: оценка научной деятельности и оценка финансово-хозяйственной деятельности.

Группа «Оценка научной деятельности научной организации» включает 5 критериев: Q_{11} . Уровень научных результатов; Q_{12} . Признание научных результатов; Q_{13} . Квалификация научных кадров; Q_{14} . Возраст научных работников; Q_{15} . Степень обновления научного оборудования.

Группа «Оценка финансово-хозяйственной деятельности научной организации» состоит из 6 критериев: Q_{21} . Достоверность баланса организации, связанная с имущественным комплексом и соответствие его уставным и учредительным документам; Q_{22} . Общие показатели баланса; Q_{23} . Показатели платежеспособности и финансовой устойчивости; Q_{24} . Показатели эффективности использования оборотного капитала (деловой активности), доходности и финансового результата (рентабельности); Q_{25} . Показатели эффективности использования внеоборотного капитала и инвестиционной активности организации; Q_{26} . Качество плана развития научной организации.

Каждый критерий имеет порядковую или номинальную шкалу оценок с развернутыми словесными формулировками градаций качества. Например, шкала критерия Q_{11} . Уровень научных результатов имеет вид:

- q_{11}^1 – выше зарубежных достижений;
- q_{11}^2 – на уровне мировых достижений;
- q_{11}^3 – ниже мировых достижений.

Критерий Q_{23} . Показатели платежеспособности и финансовой устойчивости имеет следующую шкалу:

- q_{23}^1 - научная организация платежеспособна и финансово устойчива;
- q_{23}^2 - научная организация неплатежеспособна и финансово неустойчива.

Перечисленные критерии вместе с вербальными шкалами оценок были включены в специальную анкету опроса экспертов, проводивших оценку эффективности деятельности научных организаций. Деятельность каждой организации независимо оценивалась несколькими экспертами. Таким образом, каждая организация была представлена набором из нескольких кортежей многокритериальных вербальных оценок.

Методы АРАМИС и ПАКС

Дадим формальную постановку задачи упорядочения совокупности многопризнаковых объектов A_1, \dots, A_n , которые оцениваются k экспертами по m критериям Q_1, \dots, Q_m . Каждый критерий Q_s имеет порядковую шкалу количественных или качественных оценок $\{q_s^{e_s}\}$, $e_s=1, \dots, h_s$, $s=1, \dots, m$, которые упорядочены от лучшего значения к худшему $q_s^1 \succ q_s^2 \succ \dots \succ q_s^{h_s}$. Разные критерии могут иметь различную относительную важность, но значения оценок, относящихся к одному и тому же критерию, равноценны. Будем также считать, что каждый объект оценивается всеми k экспертами по всем m критериям, и что экспертные оценки независимы. В таком случае можно выделить два объекта (возможно, гипотетических) – абсолютно лучший и абсолютно худший, которым все эксперты дали соответственно самые лучшие и самые худшие оценки по всем критериям. Требуется, исходя из многокритериальных оценок объектов, упорядочить объекты от лучшего к худшему.

В методе АРАМИС [Петровский, 2009] многопризнаковые объекты представляются как точки некоторого метрического пространства мультимножеств и упорядочиваются по относительной близости к гипотетически наилучшему объекту или удаленности от наихудшего объекта. Запишем многопризнаковый объект как мультимножество вида

$$A_i = \{k_{A_i}(q_1^1) \circ q_1^1, \dots, k_{A_i}(q_1^{h_1}) \circ q_1^{h_1}, \dots; k_{A_i}(q_m^1) \circ q_m^1, \dots, k_{A_i}(q_m^{h_m}) \circ q_m^{h_m}\}, i=1, \dots, n.$$

Здесь $k_A: X \rightarrow \mathbf{Z}_+ = \{0, 1, 2, \dots\}$ – функция кратности мультимножества, порождающее множество (домен) $X = Q_1 \cup \dots \cup Q_m$ состоит из m шкал признаков (критериев) $Q_s = \{q_s^{e_s}\}$, $s=1, \dots, m$. Величина $k_{A_i}(q_s^{e_s})$ равна числу экспертов, давших объекту A_i критериальную оценку $q_s^{e_s} \in Q_s$. Знак \circ обозначает, что в описании объекта A_i имеется $k_{A_i}(q_s^{e_s})$ копий признака $q_s^{e_s}$.

Наилучшему и наихудшему объектам соответствуют мультимножества

$$A^+ = \{k \circ q_1^1, 0, \dots, 0; k \circ q_2^1, 0, \dots, 0; \dots, k \circ q_m^1, 0, \dots, 0\},$$

$$A^- = \{0, \dots, 0, k \circ q_1^{h_1}; 0, \dots, 0, k \circ q_2^{h_2}; \dots, 0, \dots, 0, k \circ q_m^{h_m}\}.$$

Сортировку объектов можно проводить, например, по показателю относительной близости объекта к гипотетически наилучшему объекту в метрическом пространстве мультимножеств

$$l(A_i) = d^+(A_i) / [d^+(A_i) + d^-(A_i)],$$

где $d^+(A_i) = d(A^+, A_i)$, $d^-(A_i) = d(A^-, A_i)$ – расстояния между объектом A_i и гипотетически наилучшим A^+ и наихудшим A^- объектами;

$$d(A, B) = \sum_{s=1}^m w_s \sum_{e_s=1}^{h_s} |k_A(q_s^{e_s}) - k_B(q_s^{e_s})|,$$

$w_s > 0$ – коэффициент относительной важности критерия Q_s .

Лучший объект определяется минимальным значением показателя близости $l(A_i)$ к гипотетически наилучшему объекту A^+ .

Метод ПАКС (Последовательное Агрегирование Классифицируемых Состояний) [Петровский, Ройзензон, 2008] предназначен для построения

порядковой классификации реально имеющихся и гипотетических объектов (вариантов), оценённых по многим качественным критериям с вербальными шкалами. В методе используется последовательное сокращение размерности признакового пространства и разные способы агрегирования исходных признаков. В качестве классифицируемых объектов выступают комбинации вербальных градаций оценок по критериям, классами решений являются градации оценок составного критерия, а индивидуальные правила классификации представляют собой многокритериальные оценки реального объекта, данные отдельными экспертами, которые могут быть и несовпадающими.

Для получения интегрального критерия оценки объектов строятся специальные правила, сконструированные из оценок по критериям, на основе которых объект относится к одному из заданных классов. Процедура построения шкал составных критериев для классификации многопризнаковых объектов, которые агрегируют большое число наборов исходных оценок, представляет собой последовательное решение задачи снижения размерности признакового пространства. Шкалы составных критериев на каждом иерархическом уровне конструируются с помощью унифицированной процедуры классификации, состоящей из однотипных блоков, с использованием нескольких разных методов принятия решений. Блоки содержательно выделяются в зависимости от специфики решаемой задачи. Переходя шаг за шагом на более высокий уровень иерархии, конструируются приемлемые составные критерии вплоть до одного единственного критерия верхнего уровня иерархии, градации шкалы которого образуют требуемые классы решений.

Иллюстративный пример

С помощью разработанной методики экспертами Экспертно-аналитического центра был проведен мониторинг деятельности десяти федеральных государственных унитарных предприятий, выполняющих фундаментальные исследования. Экспертные оценки научных организаций, полученные по результатам обработки анкет трех экспертов, представляются следующими мультимножествами:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \{2,1,0; 3,0,0; 3,0,0; 1,1,1; 1,2,0; 2,1,0; 3,0,0; 2,1; 3,0; 3,0; 3,0,0\}; \\
 A_2 &= \{3,0,0; 2,1,0; 2,1,0; 1,2,0; 2,1,0; 3,0,0; 2,1,0; 3,0; 2,1; 2,1; 3,0,0\}; \\
 A_3 &= \{2,1,0; 2,1,0; 2,1,0; 2,1,0; 3,0,0; 2,1,0; 2,0,1; 3,0; 3,0; 3,0; 2,1,0\}; \\
 A_4 &= \{2,1,0; 1,2,0; 2,1,0; 1,2,0; 2,1,0; 2,1,0; 2,1,0; 1,2; 3,0; 3,0; 2,1,0\}; \\
 A_5 &= \{2,1,0; 2,1,0; 3,0,0; 2,1,0; 2,0,1; 2,0,1; 2,1,0; 3,0; 2,1; 3,0; 3,0,0\}; \\
 A_6 &= \{2,1,0; 1,2,0; 2,1,0; 0,3,0; 1,2,0; 3,0,0; 2,1,0; 3,0; 3,0; 2,1; 2,1,0\}; \\
 A_7 &= \{2,1,0; 2,1,0; 2,1,0; 2,1,0; 2,1,0; 1,1,1; 2,1,0; 1,2; 2,1; 1,2; 2,0,1\}; \\
 A_8 &= \{3,0,0; 3,0,0; 2,1,0; 1,1,1; 1,0,2; 3,0,0; 3,0,0; 1,2; 3,0; 3,0; 2,1,0\}; \\
 A_9 &= \{2,1,0; 2,1,0; 1,1,1; 0,2,1; 0,2,1; 2,0,1; 1,1,1; 1,2; 2,1; 2,1; 1,1,1\}; \\
 A_{10} &= \{1,2,0; 1,1,1; 2,0,1; 2,0,1; 2,1,0; 2,0,1; 2,0,1; 2,1; 2,1; 2,1; 2,0,1\}.
 \end{aligned}$$

Гипотетически наилучшей (идеальной) и наихудшей (антиидеальной) научным организациям соответствуют мультимножества:

$$A^+ = \{3,0,0; 3,0,0; 3,0,0; 3,0,0; 3,0,0; 3,0,0; 3,0,0; 3,0; 3,0; 3,0; 3,0,0\};$$

$$A^- = \{0,0,3; 0,0,3; 0,0,3; 0,0,3; 0,0,3; 0,0,3; 0,0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,0,3\}.$$

В записи мультимножеств указаны только значения функций кратности элементов мультимножества, а сами элементы, которые являются градациями шкал критериев $Q_{11}-Q_{15}$, $Q_{21}-Q_{26}$, для краткости опущены.

Расстояния $d^+(A_i)$ и $d^-(A_i)$, вычисленные в предположении одинаковой важности критериев, а также показатель $l(A_i) = d^+(A_i) / [d^+(A_i) + d^-(A_i)]$ относительной близости организации A_i к гипотетически наилучшей организации A^+ равны соответственно

Табл. 1

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}
$d^+(A_i)$	15	17	14	26	14	25	29	16	37	24
$d^-(A_i)$	61	60	63	59	60	61	50	55	46	50
$l(A_i)$	0,197	0,221	0,182	0,306	0,189	0,291	0,367	0,225	0,446	0,324

Итоговое упорядочение научных организаций имеет вид:

$$A_3 \succ A_5 \succ A_1 \succ A_2 \succ A_8 \succ A_6 \succ A_4 \succ A_{10} \succ A_7 \succ A_9.$$

Заметим, что в методе АРАМИС использование разных метрик может привести к различным итоговым упорядочениям организаций.

Результаты апробации подтвердили эффективность предложенного подхода. Были выявлены научные организации, имеющие разную эффективность, что позволяет более обоснованно принимать решения на предоставление тому или иному государственному предприятию кредита или иной формы поддержки. Были также выработаны рекомендации по совершенствованию процедуры оценки эффективности деятельности научных организаций.

Заключение

В работе предложен новый методологический подход к оценке эффективности деятельности научных организаций, выполняющих фундаментальные исследования. Каждая организация, оценивалась несколькими экспертами по многим вербальным критериям. Используя методы вербального анализа решений были построены ранжировки научных организаций и выделены наиболее эффективные в целом и по разным видам деятельности. Разработанный подход позволяет обнаруживать, представлять и использовать доступную информацию, анализировать полученные результаты и их особенности, в том числе для

несогласованных многокритериальных оценок научных организаций и противоречивых предпочтений ЛПР и суждений экспертов.

Методология многокритериальной оценки деятельности может быть успешно применена в различных областях, где необходимо получить обобщенную оценку эффективности на основе исходной слабо структурированной качественной информации.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке программ фундаментальных исследований президиума РАН «Информационные, управляющие и интеллектуальные технологии и системы» и ОНИТ РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация», Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 11-07-00230, 11-07-00398, 12-07-00034, 12-07-00509), Российского гуманитарного научного фонда (11-02-00131, 12-33-10608).

Список литературы

- [Камбаров и др., 2007] Камбаров А.О., Кулаков А.В., Яковлев Э.Н. Разработка методических основ оценки качества научных работ при проведении мониторинга в организациях, подведомственных Роснауке. Научный отчет. – М.: Экспертно-аналитический центр, 2007.
- [Ларичев и др., 1989] Ларичев О.И., Прохоров А.С., Петровский А.Б., Стернин М.Ю., Шепелев Г.И. Опыт планирования фундаментальных исследований на конкурсной основе // Вестник АН СССР. 1989, №7, С.51-61.
- [Ларичев и др., 2001] Ларичев О.И., Минин В.А., Петровский А.Б., Шепелев Г.И. Российская фундаментальная наука в третьем тысячелетии // Вестник Российской академии наук. 2001, Т.71, №1, С.13-18.
- [Ларичев, 2006] Ларичев О.И. Вербальный анализ решений. – М.: Наука, 2006.
- [Петровский, 2009] Петровский А.Б. Теория принятия решений. – М.: Издательский центр «Академия», 2009.
- [Петровский, Ройзензон, 2008] Петровский А.Б., Ройзензон Г.В. Многокритериальный подход к построению интегральных показателей. // Таврический Вестник информатики и математики. 2008, №2, С.143-150.
- [Петровский, Тихонов, 2008] Петровский А.Б., Тихонов И.П. Фундаментальные исследования, ориентированные на практический результат: подходы к оценке эффективности. // Вестник Российской академии наук. 2009, Т.79, №11. С. 1006-1011.
- [Петровский и др., 2010] Петровский А.Б., Ройзензон Г.В., Тихонов И.П., Балышев А.В. Групповая многокритериальная ранжировка научных докладов // Прикладные проблемы управления макросистемами. Труды Института системного анализа РАН. Т.59. – М.: Издательство КРАСАНД, 2010, С.68-77.
- [Саати, 1993] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993.
- [Hwang, Lin, 1987] Hwang Ch.-L., Lin M.-J. Group decision making under multiple criteria. Methods and applications. – Berlin: Springer-Verlag, 1987.