
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ НАУЧНЫХ ПРОЕКТОВ

Алексей Петровский, Григорий Ройзензон,
Александр Балышев, Игорь Тихонов

Аннотация: В работе рассматривается новый подход, ориентированный на ретроспективный анализ результативности научных проектов. Подход позволяет находить интегральные показатели оценки результативности научных проектов, используя методы группового вербального анализа решений и теорию мультимножеств. Рассмотрено применение предложенного подхода для выявления наиболее результативных научных проектов в Российском фонде фундаментальных исследований. Проведен многокритериальный анализ результатов, планируемых при подаче заявки на проект, промежуточных в ходе выполнения проекта и итоговых при завершении проекта.

Ключевые слова: групповой вербальный анализ решений, интегральный показатель оценки, результативность научного проекта, ретроспективный анализ

Введение

Государственные научные фонды являются важными элементами системы организации науки любой страны, обладающей научно-исследовательским потенциалом. Научные фонды, в том числе Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ), играют роль координационных центров национальных научных сообществ, через которые ученые получают возможность получить государственную поддержку развития своих дисциплин. Фонды строят свою работу на сочетании ряда ключевых принципов: проведение открытых конкурсов; использование независимой экспертизы и процедуры рецензирования экспертами (peer review) в качестве основного способа определения лучших проектов; публикация результатов выполненных проектов в признанных научных изданиях. Рецензирование заявок на выполнение исследований и полученных результатов служит основным инструментом экспертизы проектов и в настоящее время широко применяется в государственных и частных организациях, выделяющих гранты на научные исследования, в частности, и в РФФИ.

Одним из актуальных направлений деятельности РФФИ в настоящее время является оценка возможности практического применения результатов научных исследований в отраслях экономики [Петровский, Тихонов, 2009]. Для выявления наиболее результативных целевых фундаментальных исследований, выполняемых в интересах федеральных агентств и ведомств, потребовалось формализовать само понятие «результативность проекта», основываясь на принятых в РФФИ критериях оценки проектов. Для формирования интегральных показателей результативности научных проектов и их ранжирования по результативности на каждом этапе выполнения – от конкурсного отбора и до получения итоговых результатов – были использованы оригинальные методы вербального анализа решений, которые успешно применялись при решении различных практических задач [Ларичев, 2006], [Петровский, 2009].

В вербальном анализе решений рассматриваемые варианты и классы решений описываются с помощью качественных критериев, имеющих словесные формулировки градаций на шкалах оценок. Именно такой способ представления экспертных оценок проектов принят в РФФИ. Вербальный анализ решений отличается активным участием лица, принимающего решение (ЛПР) в анализе и решении стоящей проблемы, позволяя разносторонне и достаточно подробно выражать предпочтения ЛПР, уточнять и корректировать их в ходе решения задачи, генерировать и обосновывать новые варианты решения. Методы группового вербального анализа решений дают возможность при решении задач коллективного выбора одновременно учитывать различные интересы многих экспертов, разнообразие и несовпадение их целей и способов выражения их предпочтений. В целом вербальные методы более «прозрачны», мало чувствительны к ошибкам измерения и менее трудоемки для человека.

Результаты апробации на массиве экспертных оценок целевых проектов РФФИ, выполненных для одного из федеральных агентств в 2008-2009 годах, подтвердили эффективность предложенного подхода при проведении ретроспективного анализа результативности научных проектов.

Экспертиза научных проектов

Основной целью РФФИ является финансовая и организационная поддержка на конкурсной основе фундаментальных исследований. Один из важных аспектов деятельности РФФИ – выявление наиболее перспективных результатов фундаментальных исследований для дальнейшего использования в отраслях народного хозяйства. С этой целью в РФФИ проводятся конкурсы ориентированных целевых фундаментальных исследований, выполняемых в интересах федеральных агентств и ведомств.

Экспертиза научных проектов выполняется в РФФИ при конкурсном отборе заявок, при рассмотрении промежуточного и итогового отчетов. Таким образом, каждый проект оценивается на трех этапах. Экспертную оценку на каждом этапе проводят специалисты, работающие в различных научно-исследовательских институтах, высших учебных заведениях, научно-производственных организациях. Каждый проект независимо оценивается несколькими экспертами, как правило, тремя без согласования их мнений. Для оценки содержания заявки, промежуточного и итогового отчета используются специальные анкеты, которые содержат критерии, имеющие словесные шкалы оценок с развернутыми формулировками градаций качества. По каждому критерию эксперт выбирает только одну из оценок. Кроме того, эксперт дает итоговое заключение о целесообразности поддержки проекта и уровне результатов. На основе заключений экспертов Экспертный совет РФФИ принимает решение о принятии проекта и объемах его финансирования. Финансирование продолжается в течение двух лет и завершается, как правило, созданием лабораторного образца, прототипом и т.д.

Экспертная оценка содержания заявок на выполнение проектов целевых фундаментальных исследований и ожидаемых результатов осуществляется по 12 критериям: K_{11} . Уровень фундаментальности проекта; K_{12} . Прикладная важность проекта; K_{13} . Цели исследования; K_{14} . Методы достижения цели проекта;

K_{15} . Характер исследований; K_{16} . Научная значимость проекта; K_{17} . Уровень предлагаемых решений/ожидаемых результатов; K_{18} . Потенциал исполнителей проекта; K_{19} . Техническая оснащенность; K_{21} . Ожидаемая завершающая стадия исследований; K_{22} . Возможности практической реализации проекта; K_{23} . Масштабы применимости ожидаемых результатов.

Экспертная оценка промежуточных результатов, полученных в ходе выполнения проекта, дается по 9 критериям: P_{11} . Степень выполнения поставленных в проекте задач; P_{12} . Научный уровень результатов; P_{13} . Патентоспособность полученных результатов; P_{14} . Практическое использование полученных результатов; P_{21} . Предполагаемая степень выполнения проекта; P_{22} . Прикладная важность ожидаемых результатов проекта; P_{23} . Ожидаемая форма завершения исследований; P_{24} . Масштабы применения ожидаемых результатов; P_{25} . Наличие трудностей в работе по проекту.

Для экспертной оценки итоговых результатов, полученных при завершении проекта, используются следующие 7 критериев: F_{11} . Степень выполнения поставленных в проекте задач; F_{12} . Научный уровень результатов; F_{13} . Патентоспособность полученных результатов; F_{21} . Степень коммерциализации полученных результатов; F_{22} . Прикладная важность полученных результатов проекта; F_{23} . Форма завершения исследований; F_{24} . Масштабы применения полученных результатов.

Каждый критерий имеет порядковую или номинальную шкалу оценок с развернутыми словесными формулировками градаций качества. Например, шкала критерия P_{11}/F_{11} . «Степень выполнения поставленных в проекте задач» выглядит следующим образом: q_{11}^1 - задачи выполнены полностью; q_{11}^2 - задачи выполнены частично, имеющееся отставание несущественно; q_{11}^3 - задачи выполнены частично, имеется существенное отставание. Критерий P_{13}/F_{13} . «Патентоспособность полученных результатов» имеет такую шкалу q_{13}^1 - получены охраноспособные результаты; q_{13}^2 - патентование нецелесообразно.

Действующая в РФФИ система экспертизы позволяет оценивать проекты по принятым критериям и принимать решения о поддержке или отклонении проектов. Однако для выявления в больших массивах проектов наиболее результативных или многоаспектного анализа практической применимости полученных результатов целевых фундаментальных исследований требуются специальные методологические подходы.

Для многоаспектного ретроспективного анализа результативности научных проектов предлагается новый подход, который в определенной степени объединяет разработанные ранее методики для анализа итогов конкурсного отбора и оценки результативности научных проектов [Петровский и др., 2009], [Петровский и др., 2010а], [Петровский и др., 2010б]. Особенностью предлагаемого подхода является использование нескольких методов (или модификаций какого-то одного метода) группового принятия решений для ранжирования проектов по их результативности на каждом этапе выполнения. На заключительной стадии проводится содержательный анализ ранжировок проектов, полученных на соответствующем этапе.

Представление многопризнаковых объектов

Совокупность многокритериальных оценок научного проекта, данных одним или несколькими экспертами, можно считать многопризнаковым объектом, имеющим количественные (числовые) и/или качественные (вербальные) атрибуты. Многопризнаковые объекты A_i , $i=1, \dots, n$ обычно принято представлять как векторы или кортежи $q_i=(q_{i1}^{e_1}, \dots, q_{im}^{e_m})$ в пространстве $Q=Q_1 \times \dots \times Q_m$, где $Q_s=\{q_s^{e_s}\}$ – непрерывная или дискретная шкала s -го признака, $e_s=1, \dots, h_s$, $s=1, \dots, m$. Ситуация существенно образом усложняется, если одному и тому же объекту A_i может соответствовать не один, а несколько m -мерных векторов. В таких случаях объект A_i представляется в пространстве Q группой, состоящей из k векторов $\{q_i^{(1)}, \dots, q_i^{(k)}\}$ вида $q_i^{(j)}=(q_{i1}^{e_1(j)}, \dots, q_{im}^{e_m(j)})$, $j=1, \dots, k$, которая должна рассматриваться как единое целое. Измеренные разными способами значения параметров или индивидуальные оценки экспертов, могут быть похожими, различающимися и даже противоречивыми, что может приводить к несравнимости m -мерных векторов

$q_i^{(j)} = (q_{i1}^{e_1(j)}, \dots, q_{im}^{e_m(j)})$, характеризующих один и тот же объект A_i . Совокупность таких многомерных объектов может иметь в пространстве Q сложную структуру, достаточно трудную для анализа.

Эти трудности можно преодолеть, если воспользоваться иным способом представления многопризнаковых объектов, основанным на формализме мультимножеств, который позволяет одновременно учесть все комбинации значений количественных и качественных признаков, а также различное число значений каждого из этих признаков. Введем вместо прямого произведения m шкал признаков $Q = Q_1 \times \dots \times Q_m$ множество $X = Q_1 \cup \dots \cup Q_m$ – обобщенную шкалу (гипершкалу) признаков, состоящую из m групп признаков, и представим объект в таком символическом виде:

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

где число $k_{A_i}(q_s^{e_s})$ указывает, сколько раз признак $q_s^{e_s} \in Q_s$ встречается в описании объекта A_i , а знак \circ обозначает кратность признака $q_s^{e_s}$. Множество X характеризует свойства совокупности объектов A_1, \dots, A_n . Такая запись объекта A_i представляет его как мультимножество или множество с повторяющимися элементами [Петровский, 2003].

Определяются следующие операции над мультимножествами: объединение $A \cup B$, пересечение $A \cap B$, сложение $A + B$, вычитание $A - B$, симметрическая разность $A \Delta B$, умножение на целое число $c \bullet A$, $c > 0$, арифметическое умножение $A \bullet B$, арифметическая n -ая степень A^n , прямое произведение $A \times B$, прямая n -ая степень $(\times A)^n$, Z – максимальное мультимножество с $k_Z(x) = \max_A k_A(x)$. Новые типы операций над мультимножествами открывают новые возможности для агрегирования многопризнаковых объектов. Например, группа Y объектов может быть получена как сумма $Y = \sum_i A_i$, объединение $Y = \cup_i A_i$ или пересечение $Y = \cap_i A_i$ мультимножеств A_i , описывающих объекты A_i , либо как линейная комбинация различных мультимножеств вида $Y = \sum_i c_i \bullet A_i$, $Y = \cup_i c_i \bullet A_i$ или $Y = \cap_i c_i \bullet A_i$.

На семействе мультимножеств $L(Z) = \{A_1, \dots, A_n\}$ можно ввести новые классы метрических пространств мультимножеств $(L(Z), d)$, которые задаются следующими видами метрик [Петровский, 2003]:

$$d_{1p}(A, B) = \left(\sum_{x_i \in G} w_i |k_A(x_i) - k_B(x_i)| \right)^{1/p}, \quad p > 0;$$

$$d_{2p}(A, B) = \left(\sum_{x_i \in G} w'_i |k_A(x_i) - k_B(x_i)| \right)^{1/p}, \quad w'_i = w_i / \sum_{j=1}^h w_j k_Z(x_j);$$

$$d_{3p}(A, B) = \left(\frac{\sum_{x_i \in G} w_i |k_A(x_i) - k_B(x_i)|}{\sum_{x_i \in G} w_i \max[k_A(x_i), k_B(x_i)]} \right)^{1/p}.$$

Основная метрика $d_{1p}(A, B)$ является метрикой типа Хемминга, используемой при $p=1$ во многих приложениях. Полностью усредненная метрика $d_{2p}(A, B)$ характеризует различие между двумя мультимножествами A и B , отнесенное к расстоянию, максимально возможному в исходном пространстве. Локально усредненная метрика $d_{3p}(A, B)$ задает различие, отнесенное к максимально возможной «общей части» $A \cup B$ только этих двух мультимножеств в исходном пространстве.

Методологический подход

Существуют различные методологические подходы к построению интегральных показателей путём агрегирования признаков, описывающих рассматриваемые объекты [Айвазян и др., 1989]. Однако при использовании, например, методов, в которых проводится свертка многих критериев с весовыми коэффициентами [Анохин и др., 1997], нельзя восстановить исходные данные по агрегированным критериям, а значит, фактически невозможно объяснить полученные решения. Кроме того, весьма затруднительно обосновать назначение весов критериев, особенно при наличии нескольких экспертов.

Во многих практических случаях разработку интегрального показателя целесообразно свести к задаче многокритериальной порядковой классификации. Значения интегрального показателя будут выступать в этом случае в качестве классов решений. Именно такой подход принят для оценки результативности научных проектов. Для этого использован метод вербального анализа решений ПАКС (Последовательное Агрегирование Классифицируемых Состояний), который основан на последовательном снижении размерности признакового пространства, образованного дискретными качественными (вербальными) признаками [Петровский, Ройзензон, 2008], [Петровский и др., 2009]. Классифицируемыми объектами являются комбинации многокритериальных экспертных оценок проектов в признаковом пространстве $Q_1 \times \dots \times Q_m$. Упорядоченными классами результативности научных проектов выступают градации оценок на шкале составного критерия D «Результативность проекта»: d_1 – наивысшая, d_2 – высокая, d_3 – средняя,

d_4 – низкая, d_5 – неудовлетворительная. Метод предоставляет в распоряжение ЛПР, инструментарий, позволяющий агрегировать большое число исходных характеристик в небольшое число составных критериев, которые имеют небольшие шкалы оценок. При построении шкал составных критериев применяются разные способы ранжирования и/или классификации многомерных альтернатив исходя из предпочтений ЛПР. При этом ЛПР имело возможность формировать понятие «результативность научного проекта» различным образом и сравнивать полученные интегральные показатели.

Для групповой сортировки многопризнаковых объектов (научных проектов) использован метод АРАМИС (Агрегирование и Ранжирование Альтернатив около Многопризнаковых Идеальных Ситуаций) [Петровский, 2009], который, в общем случае, не требует предварительного построения индивидуальных ранжировок и позволяет упорядочивать многопризнаковые объекты на основе противоречивых предпочтений нескольких ЛПР. Многопризнаковые объекты A_1, \dots, A_n описываются множеством повторяющихся количественных и/или качественных атрибутов Q_1, \dots, Q_m , значения которых представлены в виде мультимножеств, и рассматриваются как точки метрического пространства мультимножеств $(L(Z), d)$ с различными метриками d . Объекты упорядочиваются по показателю относительной близости к наилучшему объекту $I^*(A_i) = d^+(A_i) / [d^+(A_i) + d^-(A_i)]$, где $d^+(A_i) = d(A^+, A_i)$ – расстояние до лучшего объекта A^+ и $d^-(A_i) = d(A^-, A_i)$ – расстояние до худшего объекта A^- в пространстве $(L(Z), d)$. Лучший (идеальный) и худший (антиидеальный) объекты (которые могут быть гипотетическими) имеют лучшие и худшие оценки по всем критериям Q_s . При вычислении расстояния критерии, по которым дается экспертная оценка проектов, можно считать равноважными или учитывать их различную важность.

Практический пример

Предложенный подход к ретроспективному анализу результативности научных проектов был апробирован при анализе результатов целевых фундаментальных исследований, выполненных в 2008-

2009 годах. Экспериментальные расчеты проводились на модельной базе данных, которая включала в себя экспертные оценки 8 проектов по области знаний «Математика, механика и информатика», полученные на всех трех этапах реализации проектов.

Экспертные оценки проектов на этапе заявки, данные тремя экспертами, были представлены как следующие мультимножества:

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

Гипотетически лучшей и худшей заявкам соответствуют мультимножества:

$$\begin{aligned} A^+ &= \{3,0,0; 3,0,0; 3,0,0; 3,0,0; 3,0,0; 3,0,0; 3,0,0; 3,0,0,0; 3,0,0; 3,0,0,0; 3,0,0,0; 3,0\}; \\ A^- &= \{0,0,3; 0,0,3; 0,0,3; 0,0,3; 0,0,3; 0,0,3; 0,0,3; 0,0,0,3; 0,0,3; 0,0,0,3; 0,0,0,3; 0,3\}. \end{aligned}$$

Экспертные оценки проектов на промежуточном этапе, данные двумя экспертами, были представлены как следующие мультимножества:

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

Гипотетически лучшему и худшему промежуточным отчетам соответствуют мультимножества:

$$\begin{aligned} A^+ &= \{2,0,0,0; 2,0,0; 2,0,0,0; 2,0,0; 2,0,0,0; 2,0,0,0; 2,0,0,0; 2,0,0; 2,0,0,0\}; \\ A^- &= \{0,0,0,2; 0,0,2; 0,0,0,2; 0,0,2; 0,0,0,2; 0,0,0,2; 0,0,0,2; 0,0,0,2; 0,0,2; 0,0,0,2\}. \end{aligned}$$

Экспертные оценки проектов на итоговом этапе, данные двумя экспертами, были представлены как следующие мультимножества:

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

Гипотетически лучшему и худшему итоговым отчетам соответствуют мультимножества:

$$\begin{aligned} A^+ &= \{2,0,0,0; 2,0,0; 2,0,0,0; 2,0,0; 2,0,0,0; 2,0,0,0; 2,0,0\}; \\ A^- &= \{0,0,0,2; 0,0,2; 0,0,0,2; 0,0,2; 0,0,0,2; 0,0,0,2; 0,0,2\}. \end{aligned}$$

Номера, входящие в представленные выше мультимножества, характеризуют только значения функций кратности элементов мультимножества, а сами элементы, которые являются градациями шкал соответствующих критериев, в записи мультимножества для краткости опущены.

Для ранжирования проектов на каждом этапе (этап 1 – заявка, этап 2 – промежуточный отчет, этап 3 – итоговый отчет) были применены разные модификации метода АРАМИС: M_1 (критерии имеют равную

важность), M_2 (критерии имеют разную важность), рассматривая их как новые атрибуты, которые характеризуют проекты. Каждый атрибут M_j имеет градацию оценок $m_j^1, m_j^2, m_j^3, \dots, m_j^t$, соответствующую порядковым номерам (рангам) проектов в ранжировках, полученным на соответствующем этапе, t – максимальный порядковый номер (в общем случае равный числу проектов по той или иной области знания). Иными словами, m_j^1 , означает, что проект имеет в ранжировке, полученной с помощью метода M_j , порядковый номер 1 и т.д. Теперь каждый проект A_i можно представить как новое мультимножество A_i , порожденное множеством методов $M=M_1 \cup M_2$, в следующем виде:

$$A_i = \{k_{A_i}(m_1^1) \circ m_1^1, \dots, k_{A_i}(m_1^t) \circ m_1^t; \dots; k_{A_i}(m_2^1) \circ m_2^1, \dots, k_{A_i}(m_2^t) \circ m_2^t\}.$$

Здесь $k_{A_i}(m_j^h)$, $h=1, \dots, t$, $j=1, 2$ показатель кратности, который показывает, сколько раз порядковый номер (ранг) m_j^h получен проектом A_i на каждом этапе при ранжировании методом M_j ; знак \circ обозначает, сколько $k_{A_i}(m_j^h)$ раз атрибут m_j^h встречается в описании объекта A_i . Ранги, присвоенные проектам на соответствующем этапе и полученные двумя разными способами, представлены ниже:

Проект	Этап 1		Этап 2		Этап 3	
	M_1	M_2	M_1	M_2	M_1	M_2
A_1	5	5	5	4	3	4
A_2	7	8	8	8	5	6
A_3	5	6	7	7	6	5
A_4	1	1	6	6	2	3
A_5	4	4	4	3	4	2
A_6	3	3	1	1	1	1
A_7	6	7	3	5	7	7
A_8	2	2	2	2	5	6

Итоговое упорядочение проектов для ретроспективного анализа выглядит следующим образом:

$$A_6 > (A_4 = A_8) > A_5 > A_1 > (A_3 = A_7) > A_2.$$

Существенное значение при упорядочении проектов разными методами имеет число экспертов, назначаемых для проведения экспертизы. Если проект на том или ином этапе оценивается только двумя экспертами, то возможны ситуации, когда заключения экспертов будут противоположными: один эксперт поддерживает проект, а другой отклоняет. Для большей достоверности выводов целесообразно, чтобы минимальное число экспертов, оценивающих проекты на каждом этапе, было не менее трех.

Заключение

В работе предложен «прозрачный» подход для ретроспективного анализа результативности научных проектов, оцененных несколькими экспертами по многим числовым или вербальным критериям. Используя методы группового анализа решений со снижением размерности признакового пространства, сконструирован интегральный показатель результативности научных проектов, по значениям которого различными способами была рассчитана результативность проектов. Используя метод АРАМИС, основанный на теории метрических пространств мультимножеств, построены ранжировки проектов и выделены наиболее результативные проекты. Представление многопризнаковых объектов с помощью мультимножеств позволяет анализировать доступную информацию, особенно в случае несогласованных многокритериальных оценок проектов и противоречивых суждений экспертов. Подход апробирован на

модельной базе данных, содержащей результаты экспертной оценки проектов целевых фундаментальных исследований в РФФИ на нескольких этапах.

Благодарности

The paper is published with financial support by the project ITHEA XXI of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA (www.ithea.org) and the Association of Developers and Users of Intelligent Systems ADUIS Ukraine (www.aduis.com.ua).

Список литературы

- [Айвазян и др., 1989] Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; Под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989.
- [Анохин и др., 1997] Методы определения коэффициентов важности критериев / А.М. Анохин, В.А. Глотов, В.В. Павельев, А.М. Черкашин // Автоматика и телемеханика. – 1997. – № 8. – С. 3–35.
- [Ларичев, 2006] Ларичев О.И. Вербальный анализ решений / Под ред. А.Б.Петровского. – М.: Наука, 2006.
- [Петровский, 2003] Петровский А.Б. Пространства множеств и мультимножеств. – М: Едиториал УРСС, 2003.
- [Петровский, 2009] Петровский А.Б. Теория принятия решений. – М.: Издательский центр «Академия», 2009.
- [Петровский, Ройзензон, 2008] Петровский А.Б., Ройзензон Г.В. Интерактивная процедура снижения размерности признакового пространства в задачах многокритериальной классификации // Поддержка принятия решений: Труды Института системного анализа Российской академии наук / Под ред. А.Б. Петровского. – М.: Едиториал УРСС, 2008. – Т.35. – С.43-53.
- [Петровский, Тихонов, 2009] Петровский А.Б., Тихонов И.П. Фундаментальные исследования, ориентированные на практический результат: подходы к оценке эффективности // Вестник РАН. – 2009. – Т. 79, № 11. – С. 1006–1011.
- [Петровский и др., 2009] Петровский А.Б., Ройзензон Г.В., Тихонов И.П. Построение интегральных показателей оценки результативности научных проектов // Intelligent Support of Decision Making / Ed. by K. Markov, A. Voloshyn, K. Ivanova, I. Mitov. – No. 10. – Sofia: FOI ITHEA, 2009. – P. 59–66.
- [Петровский и др, 2010а] Групповое упорядочивание научных проектов по несогласованным многокритериальным оценкам / А.Б. Петровский, Г.В. Ройзензон, И.П. Тихонов, А.В. Балышев // Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. Труды конференции. – Т. 3. – М.: Физматлит, 2010. – С. 201–207.
- [Петровский и др, 2010б] Применение метода «МАСКА» для групповой экспертной классификации научных проектов по многим критериям / А.Б. Петровский, Г.В. Ройзензон, И.П. Тихонов, А.В. Балышев // Natural and Artificial Intelligence / Ed. by K. Markov, V. Velychko, O. Voloshin. – No. 17. – Sofia: ITHEA, 2010. – P. 56–67.
-

Сведения об авторах

Петровский Алексей Борисович – д.т.н., профессор, заведующий лабораторией Института системного анализа РАН, Россия, Москва 117312, пр-т 60-летия Октября, 9, e-mail: pab@isa.ru

Ройзензон Григорий Владимирович – к.т.н., старший научный сотрудник Института системного анализа РАН, Россия, Москва 117312, пр-т 60-летия Октября, 9, тел. e-mail: rgv@isa.ru

Балышев Александр Владимирович – к.б.н., начальник отдела Российского фонда фундаментальных исследований, Россия, Москва 117334, Ленинский пр-кт, 32А, e-mail: bav@rfbr.ru

Тихонов Игорь Петрович – к.т.н., старший научный сотрудник Экспертно-аналитического центра Минобрнауки РФ, Россия, Москва 109316, ул. Талалихина, 33, e-mail: 8tat@mail.ru