

Синергетический эффект в принятии решений *

Ройзензон Г.В.

Ключевые слова: синергетический эффект, многокритериальные задачи, принятие решений, иерархические структуры

Введение

Синергетика - научная дисциплина, которая была основана Германом Хакеном в конце 60-х - начале 70-х годов двадцатого века [Хакен, 1980]. Г. Хакен ввел термин «синергетика» под влиянием работ Ильи Пригожина, которые касались теории диссипативных структур (неравновесных открытых систем) [Николис и др., 1979]. Фундаментальным понятием синергетики является понятие самоорганизации. Хакен определяет синергетику как новую область междисциплинарных исследований, посвященную изучению самоорганизующегося поведения, которое приводит к образованию структур и формированию функций [Эбелинг и др., 2005]. В качестве самоорганизующихся объектов исследований могут выступать, например, различные сложные биологические [Sherrington, 1906], [Кестлер, 1993], [Тимофеев-Ресовский, 2008]; экологические [Фомичев, 2004], [Геловани и др., 2001], [Крисилов, 2009]; технические [Ларичев и др., 1988], [Стефанюк, 2004], [Ройзензон, 2005б]; социальные (например, вопросы народонаселения) [Капица и др., 2003], [Чернавский, 2004]; экономические [Лившиц и др., 2011], [Асанов и др., 2001]; организационные системы [Гвишиани, 1972], [Акофф, 1982], [Ларичев и др., 2002], [Ларичев, 2006б], [Петровский и др., 2011а], [Тарасов, 2002], [Argote et al., 2000] и др. Рассмотрим в качестве примера самоорганизующегося объекта - сложную техническую систему (вычислительный кластер [Ройзензон, 2005б]). Иллюстрацией самоорганизации такой системы может служить балансировка энергопотребления (использование энергосберегающих технологий) в зависимости от интенсивности вычислений в процессе человеко-машинного взаимодействия. Примером структуры для такой сложной самоорганизующейся системы являются иерархически организованные технические характеристики (детализировка). Функцией (если опять же воспользоваться примером из вычислительной техники) является, например, расчет прочности материалов за минимальное время (с максимальной производительностью в ГФлопсах) с использованием специализированных программных пакетов и т.п. Изучение подобных сложных самоорганизующихся объектов является одной из основных задач системного анализа [фон Бергаланфи, 1969]. При этом крайне важно сформулировать четкие критерии оценки, которые позволят сравнивать и соответствующим образом классифицировать такие сложные системы с помощью различных методологических подходов [Глушков, 1974]. Формирование такого набора критериев (или сразу нескольких различных наборов) является важным, а иногда и решающим, аспектом процесса принятия решений. При этом под принятием решений понимается особый вид человеческой деятельности, который состоит в обоснованном выборе наилучшего в некотором смысле варианта или нескольких предпочтительных вариантов из имеющихся возможных [Петровский, 2009]. Именно возможность оценивать, а затем сравнивать и/или классифицировать сложные системы (в том числе и самоорганизующиеся) по многим критериям с помощью комбинаций различных методологических подходов и при использовании сразу нескольких систем критериев [Ройзензон, 2008] позволяет получить так называемый синергетический эффект в задачах принятия решений. Такой подход позволяет получить более обдуманные, обоснованные и взвешенные решения, что особенно актуально для задач стратегического выбора. В подобных задачах стратегического выбора принимаемое решение относится к будущему и его последствия имеют долгосрочный характер [Ларичев, 2006б] (например, зада-

* Работа поддержана программами фундаментальных исследований президиума РАН «Интеллектуальные информационные технологии, математическое моделирование, системный анализ и автоматизация» и ОНИТ РАН «Информационные технологии и методы анализа сложных систем», Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 09-07-00009, 11-07-00230, 11-07-00398), Российским гуманитарным научным фондом (проект 11-02-00131а).

ча выбора площадки для строительства атомной станции [Кини, 1983] или оценка риска при выдаче крупного кредита корпоративному заемщику [Асанов и др., 2001]).

Под синергетическим эффектом понимается возрастание эффективности деятельности в результате интеграции, слияния отдельных частей в единую систему. При этом в качестве таких «частей» могут выступать сотрудники корпорации, различные алгоритмы, математические аппараты, методологические подходы и т.п. В соответствии с работой В. Б. Тарасова [Тарасов, 2002] формально синергетический эффект может быть представлен следующим образом:

$$F(u, v) > F(u) + F(v)$$

т.е. функция эффективности целого всегда больше суммы эффективности его частей.

Стоит отметить работы¹, в которых обозначена роль синергетического эффекта в различных дисциплинах: системном анализе [Лившиц и др., 2011]; искусственном интеллекте [Тарасов, 2002], [Поспелов и др., 1999], [Кузнецов, 1995], [Финн, 1999], [Евгениев, 2010], [Крисилов, 2009]; в принятии решений [Ларичев и др., 2002], [Ларичев, 2006а], [Петровский, 2003], [фон Нейман, 1956], [Журавлев, 1998], [Чернавский, 2004], [Кулинич, 2010], [Янковская, 2010] и др.

Очевидно, что в современных условиях новый импульс для развития синергетики в связке с задачами принятия решений дают передовые информационные технологии коммуникаций (например, WEB-порталы, где могут быть аккумулированы знания сотрудников корпорации [Ларичев и др., 2002], [Argote et al., 2000], [Тарасов, 2002], [Попов, 2001], [Смирнов и др., 2010], [Попков и др., 2004], [Хорошевский, 2008], [Хорошевский, 2009]; социальные сети [Тищенко и др., 2010] [Тищенко, 2011], [Кузнецов и др., 2011]; поисковые интеллектуальные системы [Киселёв и др., 2010] и т.п.). Рассмотренные в рамках современных информационных технологий объекты (WEB-порталы, социальные сети, интеллектуальные поисковые системы и др.) сами по себе также являются самоорганизующимися. При рассмотрении таких объектов особую роль играют методы принятия решений (например, при ранжировании сайтов по многим критериям, при коллективном решении проблемы сотрудниками корпорации). Эти аспекты подчеркивают тесную взаимосвязь между задачами системного анализа, принятия решений и синергетики.

Определение системного анализа, которое было дано бывшим помощником министра обороны США Аленом С. Энтховеном формулируется следующим образом: системный анализ - это количественный здравый смысл [Ларичев, 1979]. Если несколько переформулировать это определение, то системным анализом можно назвать попытку формализовать здравый смысл с помощью современных аналитических методов. Такой подход позволяет сосредоточить внимание на принятии важнейших решений [Лившиц и др., 2011] и определить какие аспекты сложной проблемы могут быть непосредственно точно измерены, т.е. выражены количественно, а какие непосредственному количественному измерению не поддаются, т.е. являются по своей сути качественными. Например, при рассмотрении целей общественного развития иногда ошибочно ограничиваются лишь материальными факторами и не учитывают духовные (например, социальную значимость) [Глушков, 1974]. В большинстве случаев именно разумное сочетание количественных и качественных факторов при рассмотрении сложных проблем выбора позволяет всесторонне изучить решаемую задачу и получить удовлетворительное решение. Во многом это перекликается с определением слабоструктурируемых задач, которое было сформулировано Г. Саймоном и А. Ньюэллом в работе [Simon et al., 1958]. Именно поэтому сложные задачи выбора являются многокритериальными, а не средовыми [Крисилов, 2009], т.е. сочетающими количественные и качественные факторы (признаки, критерии) при доминировании последних [Ларичев, 2006а], [Петровский, 1994], [Малишевский, 1998], [Заде, 1976], [Озерной и др., 1978], [Глотов и др., 1984], [Миркин, 1980].

¹ Нужно сразу же оговориться, что в рамках этой статьи мы ограничимся в основном ссылками на работы, где упоминается использование синергетического эффекта в различных дисциплинах. При этом необходимо отметить, что большое число работ близкой междисциплинарной тематики (например, теории организаций) опубликовано в ежегоднике «Системные исследования. Методологические проблемы», который издается с 1969 года.

Многокритериальное принятие решений: проблемы и перспективы

Вместе с тем непосредственная классификация или сравнение альтернатив (сложных систем), описываемых большим числом признаков, и в особенности качественных признаков, является трудоемкой процедурой, которая требует значительных временных затрат лица, принимающего решение (ЛПР), что нередко существенно затрудняет применение на практике нормативных методов принятия решений. Нормативные методы принятия решений различаются способами получения, обработки и представления информации (количественной, качественной, графической, аудио, видео и т.п.) о свойствах объектов и предпочтениях ЛПР. Когда же сравниваемых объектов мало (3-5), а их признаки различны по значениям и многочисленны (десятки и сотни), такие объекты, как правило, оказываются формально несравнимыми по своим свойствам [Ройзензон, 2005а], [Ройзензон, 2008].

Современные объекты исследований (особенно самоорганизующиеся) сами по себе становятся все более и более сложными. Одному эксперту все сложнее разобраться во всех аспектах сложной проблемы (например, в задаче оценки кредитного риска разные параметры кредита оценивали разные отделы банка [Асанов и др., 2001]). Данная сложность будет существовать всегда и будет в будущем еще усугубляться. Один из основоположников системного анализа Георг Крон [Крон, 1972] обращает внимание на этот аспект в своей замечательной книге по диакопике.

Исследования в области когнитивной психологии продемонстрировали склонность людей использовать различные способы «группировки информации» применительно к проблемам выбора, в которых объекты описываются большим числом признаков. Так, при решении задач классификации большой размерности ЛПР зачастую применяет различные упрощенные стратегии с использованием только части критериев, что облегчает построение границ классов решений, но может негативно повлиять на выработку решающих правил и дальнейший анализ полученных результатов.

Эти обстоятельства диктуют необходимость разработки специальных методов обработки информации, обеспечивающих решение задач многокритериального выбора и классификации в пространствах большой размерности.

Одним из способов преодоления указанных трудностей при сравнении многокритериальных объектов является сокращение размерности признакового пространства и использование дополнительных, психологически корректных операций получения информации от ЛПР и экспертов. Специальные исследования показали, что человеку легче сравнивать объекты по небольшому числу показателей, результаты таких сравнений более надежны и их проще анализировать. Человек более надежно и с меньшим числом ошибок оперирует с качественными, вербальными данными, нежели с количественными, числовыми [Ларичев, 2006а], [Петровский, 2009].

Для упрощения процедуры сравнения и/или классификации многопризнаковых объектов по их свойствам при решении задачи выбора ЛПР должен иметь в своем распоряжении соответствующий инструментарий, который позволяет агрегировать большое число характеристик объектов в небольшое число критериев, имеющих небольшие вербальные шкалы оценок, отражающие предпочтения ЛПР.

Снижение размерности признакового пространства

Формально задача снижения размерности признакового пространства имеет следующий вид [Ройзензон, 2005а], [Ройзензон, 2008], [Петровский и др., 2008а]:

$$X_1 \times \dots \times X_m \rightarrow Y_1 \times \dots \times Y_n, n < m,$$

где X_1, \dots, X_m – исходный набор признаков, Y_1, \dots, Y_n – новый набор признаков, m – размерность исходного признакового пространства, n – размерность нового признакового пространства. Каждый из признаков имеет свою собственную шкалу $X_i = \{x_i^1, \dots, x_i^{g_i}\}$, $i=1, \dots, m$, $Y_j = \{y_j^1, \dots, y_j^{h_j}\}$, $j=1, \dots, n$ с упорядоченной градацией оценок.

Подробный обзор различных методов снижения размерности признакового пространства представлен в работе [Ройзензон, 2006]. Отметим, что особенностью применения методов снижения размерности признакового пространства в слабоструктурируемых задачах принятия решений является либо существенный дефицит прецедентной информации, либо ее полное отсутствие (например, при решении новой задачи уникального выбора), что является в ряде случаев непреодолимым препятствием применения на практике существующих методов. Кроме того, большинство известных методов снижения размерности признакового пространства ориентированы на работу с количественной информацией, что также препятствует их использованию в слабоструктурируемых задачах, где качественные факторы доминируют.

Сведем задачу снижения размерности признакового пространства к построению иерархической системы критериев, в которой различные комбинации исходных признаков (кортежи оценок) последовательно агрегируются в меньшие наборы новых признаков, имеющих для ЛПР вполне определенное содержательное значение.

В рамках исследования иерархических структур отметим работы Н.Г. Загоруйко [Загоруйко, 1999], М. Минского [Minsky, 1963], Дж. Хокинса [Хокинс и др., 2007], И.Ф. Шахнова [Макеев и др., 1991], теорию иерархических многоуровневых систем М. Месаровича, Д. Мако и И. Такахары [Месарович и др., 1973], информационную теорию иерархических систем Н.Н. Моисеева [Моисеев, 2003], методы и модели согласования иерархических решений А.А. Макарова [Макаров, 1979], оптимальные иерархии управления в экономических системах С.П. Мишина [Мишин, 2004], анализ экспертных суждений, заданных в виде иерархических структур А. М. Рапопорта [Рапопорт и др., 1978], пирамидальные сети В. П. Гладуна [Гладун, 2000], иерархические пространственные системы [Фридман и др., 2006], метод аналитической иерархии (АНР) Т. Саати [Саати, 1993] и др.

Рассмотрим подробнее математический аппарат оперирования иерархическими структурами. Пристальное внимание к этому аспекту во многом продиктовано центральной ролью иерархических структур в рамках системных исследований [Саймон, 2004], [фон Бергаланфи, 1969], [Кестлер, 1993]. Существует несколько форм представления иерархий: матричная, теоретико-множественная (например, с использованием таксонов [Загоруйко, 1999]), графическая (например, «деревья» целей, «деревья» решений [Лопухин, 1971], стратифицированные иерархии [Месарович и др., 1973]), с использованием языка типологии и ряд других.

Введем следующее определение. *Составным критерием* называется интегральный показатель, который определяет выбранное ЛПР свойство вариантов, агрегирующее исходные характеристики. Каждая градация шкалы составного критерия является комбинацией оценок исходных показателей [Ройзензон, 2008], [Петровский и др., 2009].

Переходя шаг за шагом на более высокий уровень иерархии, ЛПР может сконструировать приемлемые для него составные критерии вплоть до одного единственного.

Процедура агрегирования показателей является многоуровневой иерархической структурой со «слабыми» связями, в которой элемент нижележащего уровня (оценки исходных показателей) подчинен двум и более вершинам вышестоящего уровня (оценкам составных критериев).

Представим процедуру построения шкал составных критериев в виде однотипных блоков. Блоки содержательно выделяются ЛПР в зависимости от специфики решаемой задачи. Каждый блок классификации i -го уровня иерархии состоит из некоторого набора признаков и одного составного критерия. В качестве объектов классификации выступают все градации оценок на шкалах признаков. Классами решений i -го уровня служат градации оценок на шкале составного критерия.

В блоке классификации $(i+1)$ -го уровня иерархии составные критерии i -го уровня считаются признаками, множество градаций оценок которых представляет собой новые объекты классификации в сокращенном признаковом пространстве, а классами решений будут теперь

градации оценок на шкале составного критерия $(i+1)$ -го уровня. Процедура повторяется до тех пор, пока не останется единственный составной критерий верхнего уровня, шкала оценок которого образует искомые упорядоченные классы решений D_1, \dots, D_q , где q — число классов. Тем самым устанавливается соответствие между классами решений D_1, \dots, D_q и совокупностью исходных показателей — множеством X_1, \dots, X_m всех возможных комбинаций градаций оценок на шкалах критериев $X_i = \{x_i^1, \dots, x_i^{g_i}\}$, $i=1, \dots, m$, критериев K_1, \dots, K_m и находятся границы классов, что позволяет легко построить классификацию реальных альтернатив V_1, \dots, V_p , где p — число альтернатив (вариантов), оцененных по многим критериям. Для формирования шкал оценок по составным критериям ЛППР может воспользоваться несколькими процедурами.

Каждый блок i -го уровня иерархии представляет собой связный двудольный граф $G_i = \langle U, E \rangle$, где U — вершины графа, E — дуги. Множеством вершин $U = X \cup Y$ являются значения исходных признаков $X = \{X_1 \cup \dots \cup X_m\}$ и градации шкал составных критериев $Y = \{Y_1 \cup \dots \cup Y_n\}$.

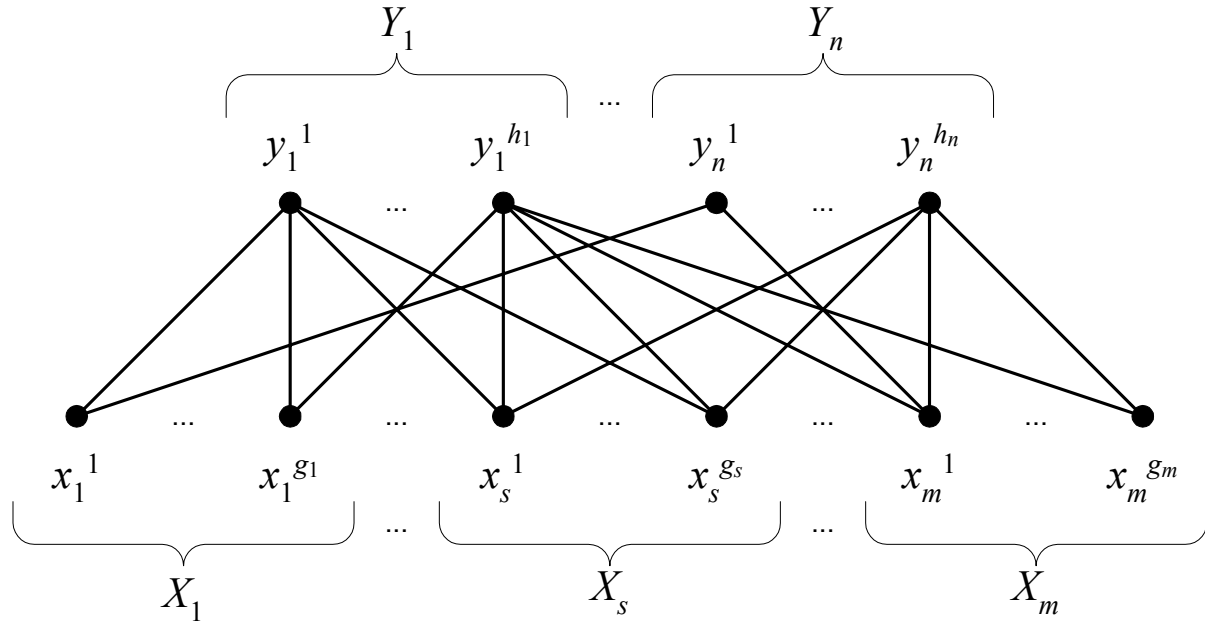


Рис. 1. Структура типового блока построения шкалы составного критерия i -ого уровня иерархии

Дуги E графически выражают наборы решающих правил, на основании которых выстраиваются кортежи оценок, формирующих градации шкал составных критериев (фактически это одна из форм смысловой интерпретации предпочтений ЛППР). Между одними и теми же вершинами, относящимися к разным множествам, имеет место кратность дуг, т.е. граф G_i является мультиграфом (рис. 1).

Кратность дуг графа G_i позволяет представить градацию $y_j^{f_j}$ ($f_j=1, \dots, h_j, j=1, \dots, n$) шкалы составного критерия Y_j в виде мультимножества, т.е. множества с повторяющимися элементами [Петровский, 2003]:

$$A_{f_j} = \{k_{A_{f_j}}(x_1^1) \circ x_1^1, \dots, k_{A_{f_j}}(x_1^{g_1}) \circ x_1^{g_1}, \dots, k_{A_{f_j}}(x_m^1) \circ x_m^1, \dots, k_{A_{f_j}}(x_m^{g_m}) \circ x_m^{g_m}\},$$

где $k_{A_{f_j}}(x_i^{e_i})$ указывает сколько раз значение исходного признака $x_i^{e_i}$ ($i=1, \dots, m, e_i=1, \dots, g_i$) встречается в кортежах, которые формируют градацию шкалы составного критерия $y_j^{f_j}$; знак \circ обозначает кратность оценки $x_i^{e_i}$. Необходимо отметить, что актуальность использования мультимножеств в теории графов подчеркивается в работе [Стенли, 1990].

Использование понятий графа и мультимножества позволяет выстроить единую схему формализации понятия составного критерия и по-новому решить известные задачи [Загоруйко, 1999], такие как измерение близости [Раппопорт и др., 1978] и сопоставление. Кроме того, такой подход позволяет рассматривать задачи, с решением которых есть определенные сложности, например, распознавание иерархических структур за счет использования новых, недоступных ранее операций, введенных в теории мультимножеств [Петровский, 2003].

Процедура агрегирования показателей может иметь последовательный характер, т.е. полученные группы критериев могут быть, в свою очередь, объединены в новые группы (следующий уровень иерархии) и так далее. При конструировании шкал составных критериев на разных этапах могут использоваться различные подходы. Например, один из составных критериев можно сформировать при помощи метода стратификации кортежей [Петровский и др., 2008б], [Ройзензон, 2008], а другой – при помощи многокритериальной порядковой классификации [Асанов и др., 2001], [Ларичев, 2006а], [Петровский и др., 2008а].

В общем случае для построения шкал составных критериев можно использовать практически любой метод ранжирования или классификации многокритериальных альтернатив, позволяющий представить каждую градацию шкалы составного критерия в виде комбинации оценок базовых показателей. Такой подход позволяет при решении конкретной практической задачи выбрать как наиболее предпочтительный набор (или наборы) составных критериев, так и метод (совокупность методов) их построения [Ройзензон, 2007].

Таким образом, разработка системы составных критериев оценки позволяет исследователю найти разумный компромисс между необходимостью максимально компактного представления иерархической системы критериев («параметры порядка» [Хакен, 1980], [Лившиц и др., 2011]), что делает задачу обозримой, существенно сокращает время решения задачи выбора, позволяет уменьшить вычислительную сложность, повышает общность классификатора [Местецкий, 2009], [Ройзензон, 2008]. Процедура разработки подобной иерархической системы критериев, которая описывает многопризнаковые объекты (сложные системы), в ряде случаев, неразрывно связана с возникновением определенных проблем (неоправданное упрощение задачи, возможный рост степени неопределенности, потеря информации) [Канеман и др., 2005], [Мазур, 1974]. Выработка этого компромисса имеет «свою цену», которую необходимо за это «заплатить» [Ройзензон, 2007].

В зависимости от специфики задачи выбора иерархическая система критериев может быть известна заранее (например, организационная структура предприятия), известна частично (например, известна только структура технических характеристик многопризнаковых объектов) и неизвестна вообще, т.е. иерархию требуется разработать «с нуля» (такая ситуация характерна для задач планирования научных исследований, где присутствует высокая степень неопределенности и риска, связанная с получением нового знания). При построении системы критериев в первом случае основное внимание должно быть уделено разработке шкал составных критериев. Особенностью разработки системы критериев во втором и в третьем случаях является возможность сформировать разные наборы составных критериев различными способами (например, последовательно объединяя критерии попарно [Готов и др., 1984] или формируя группы критериев исходя из некоторой смысловой общности [Ройзензон, 2008]). Это позволяет сравнить полученные результаты для разных вариантов классификации и выбора с целью оценки качества решения исходной проблемы.

Большинство нормативных методов принятия решений базируются на эвристических процедурах, которые не имеют строгого обоснования [Ларичев, 1975]. В основном подобные процедуры используют опыт и интуицию ЛПР или экспертов. Соответственно в таких условиях желательно иметь возможность прорешать конкретную задачу, которая стоит перед ЛПР, с помощью различных нормативных методов принятия решений (или их комбинаций) и сравнить (сопоставить) полученные результаты (решения).

Поэтому, в задачах многокритериального принятия решений синергетический эффект достигается при использовании комбинаций различных нормативных методов, которые могут базироваться на различных математических аппаратах и использовании различных систем критериев (составных, иерархических [Петровский и др., 2008а], [Ройзензон, 2007], [Ройзензон, 2008], индексов, построенных на использовании взвешенных сумм [Кини и др., 1981] и др.).

Практический пример: оценка результативности научных проектов

Рассмотрим пример, в котором использован подход к сравнению объектов по составным критериям, построенным на основе использования многокритериальных оценок. Этот подход

сочетает методы вербального анализа решений [Ларичев, 2006а] и процедуру снижения размерности признакового пространства [Ройзензон, 2005а], [Ройзензон, 2008], [Петровский и др., 2008а] и оперирует с множеством числовых, символьных и вербальных признаков. Для групповой сортировки многопризнаковых объектов использован метод АРАМИС (Агрегирование и Ранжирование Альтернатив около Многопризнаковых Идеальных Ситуаций) [Петровский, 2009], [Петровский и др., 2010], [Петровский и др., 2011а], который не требует предварительного построения индивидуальных ранжировок. Многопризнаковые объекты были представлены как мультимножества [Петровский, 2003] и упорядочивались по показателю близости к «идеальной» точке в метрическом пространстве мультимножеств. Рассмотренный подход применен для сравнения результативности научных проектов, которые были поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований [Петровский и др., 2009], [Петровский и др., 2010].

Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) — федеральное агентство, которое организывает и финансирует научные проекты и дает оценку возможности их практического применения. Одним из важнейших направлений деятельности РФФИ является оценка результативности проектов целевых фундаментальных исследований, которые выполняются в интересах российских федеральных агентств и ведомств. Для отбора завершенных проектов с точки зрения возможности их практического использования в РФФИ применяется оригинальная процедура экспертизы, которая не имеет зарубежных аналогов.

Каждый проект оценивается несколькими независимыми экспертами без согласования их мнений. В качестве экспертов выступают хорошо известные специалисты, работающие в научно-исследовательских институтах, университетах и промышленных предприятиях. Для оценки содержания проектов и полученных результатов эксперты используют систему качественных критериев с развернутыми порядковыми вербальными описаниями шкал оценок. Кроме того, эксперты выражают свои предпочтения при оценке возможности поддержки проекта на стадии подачи заявки, на промежуточной стадии выполнения проекта, а также определяют фундаментальную и практическую ценность полученных итоговых результатов. Мнения экспертов, конечно, могут совпадать или различаться. На основе рекомендаций экспертов Экспертный совет РФФИ решает поддержать или отвергнуть новые проекты, продолжать или прервать выполнение проекта и оценивает результативность проекта.

Известны и широко используются в практической деятельности многочисленные отечественные и зарубежные разработки, предназначенные для экспертной оценки различных видов программ и проектов. Упомянем такие системы как «Программирование-Планирование-Бюджетирование», «Стоимость-Эффективность», «Peer review», «Система сбалансированных показателей» и другие [Ларичев и др., 1989]. Подавляющее большинство применяемых методологий экспертной оценки объектов различной природы использует так называемый количественный подход, основанный на числовом измерении показателей. Однако, несмотря на кажущуюся простоту и очевидность, количественный подход малоприменим для работы с качественными характеристиками, которые применяются в РФФИ для оценки проектов.

Например, для оценки результативности проектов ориентированных фундаментальных исследований в РФФИ используется система критериев, представленная на рис. 2. В представленной системе (рис. 2), которая базируется на анкете оценки отчета о выполнении исследований, используется два составных критерия: «Оценка полученных результатов проекта» и «Ожидаемые результаты завершающей стадии проекта» с четырьмя градациями (фактически два составных критерия соответствуют двум разделам анкеты). Эти аспекты играют существенную роль при формализации понятия «результативность проекта» и позволяет сформировать составные критерии.

Другой возможный вариант формирования иерархической системы критериев состоит во введении трех составных критериев: «Оценка полученных результатов проекта», «Ожидаемые результаты завершающей стадии проекта» и «Возможности использования результатов в программах федеральных агентств и ведомств» (рис. 3).

В работах [Петровский и др., 2008а], [Петровский и др., 2009] для построения составного критерия оценки результативности проектов был предложен специальный подход иерархи-

ческого агрегирования. Построение составного критерия рассматривалось как задача порядковой классификации со снижением размерности признакового пространства. В качестве классифицируемых объектов выступали комбинации многокритериальных оценок проектов в признаковом пространстве $K_1 \times \dots \times K_8$. Упорядоченными классами результативности научных проектов выступали градации оценок на шкале составного критерия D «Результативность проекта»: d_1 – наивысшая, d_2 – высокая, d_3 – средняя, d_4 – низкая, d_5 – неудовлетворительная.

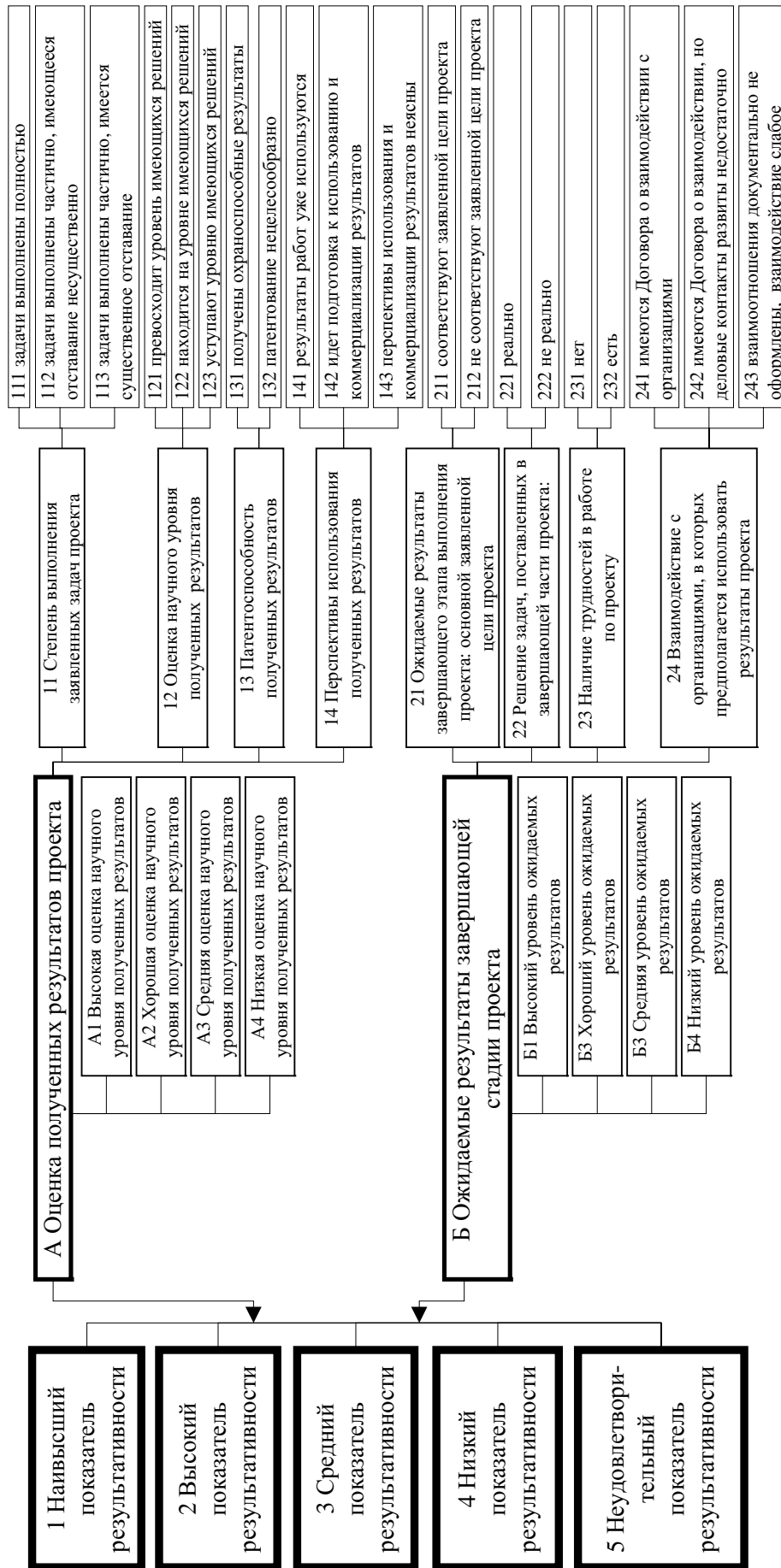


Рис. 2. Иерархическая система критериев многокритериальной оценки результативности научных проектов (вариант I)

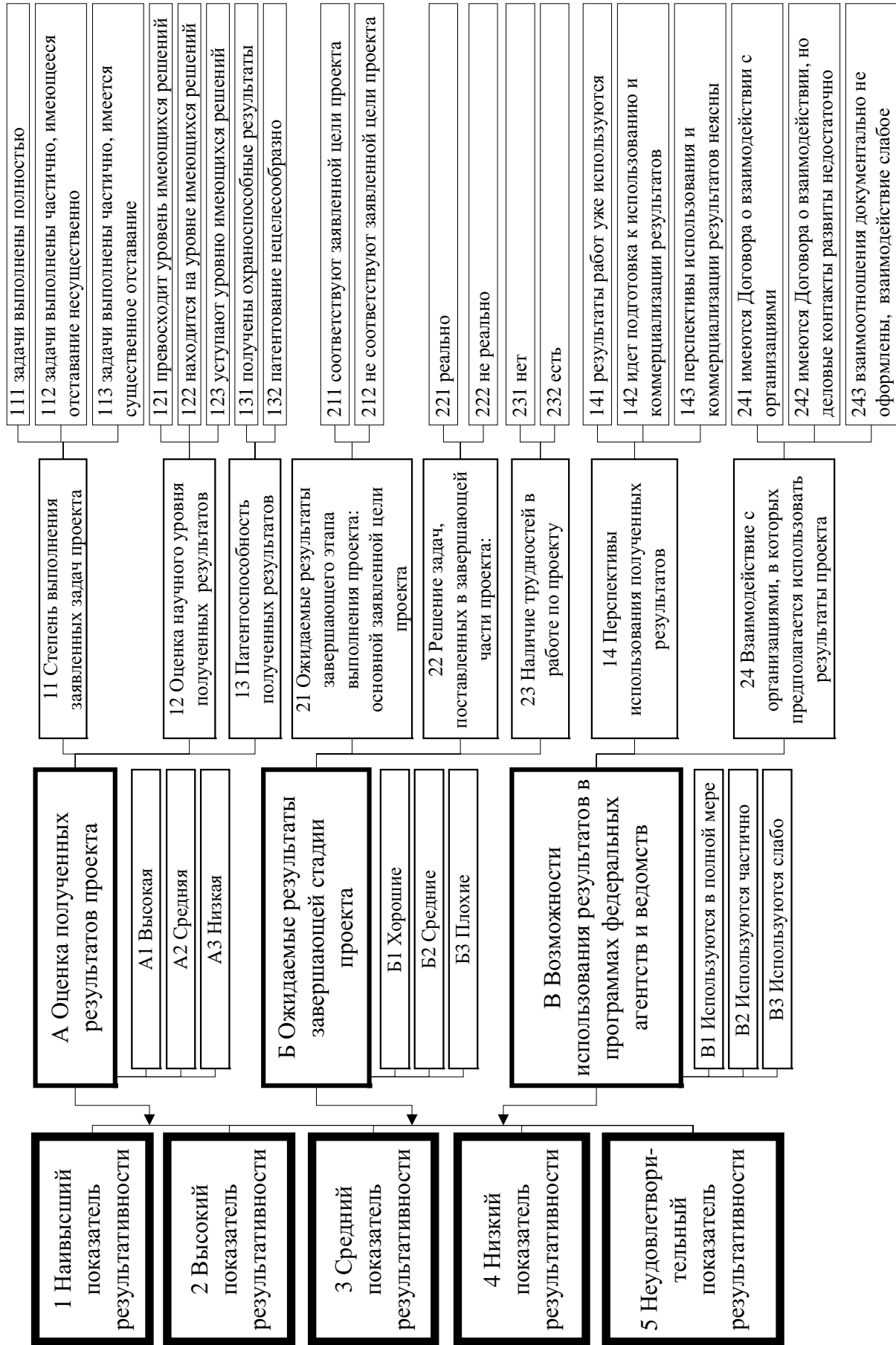


Рис. 3. Иерархическая система критериев многокритериальной оценки результативности научных проектов (вариант II)

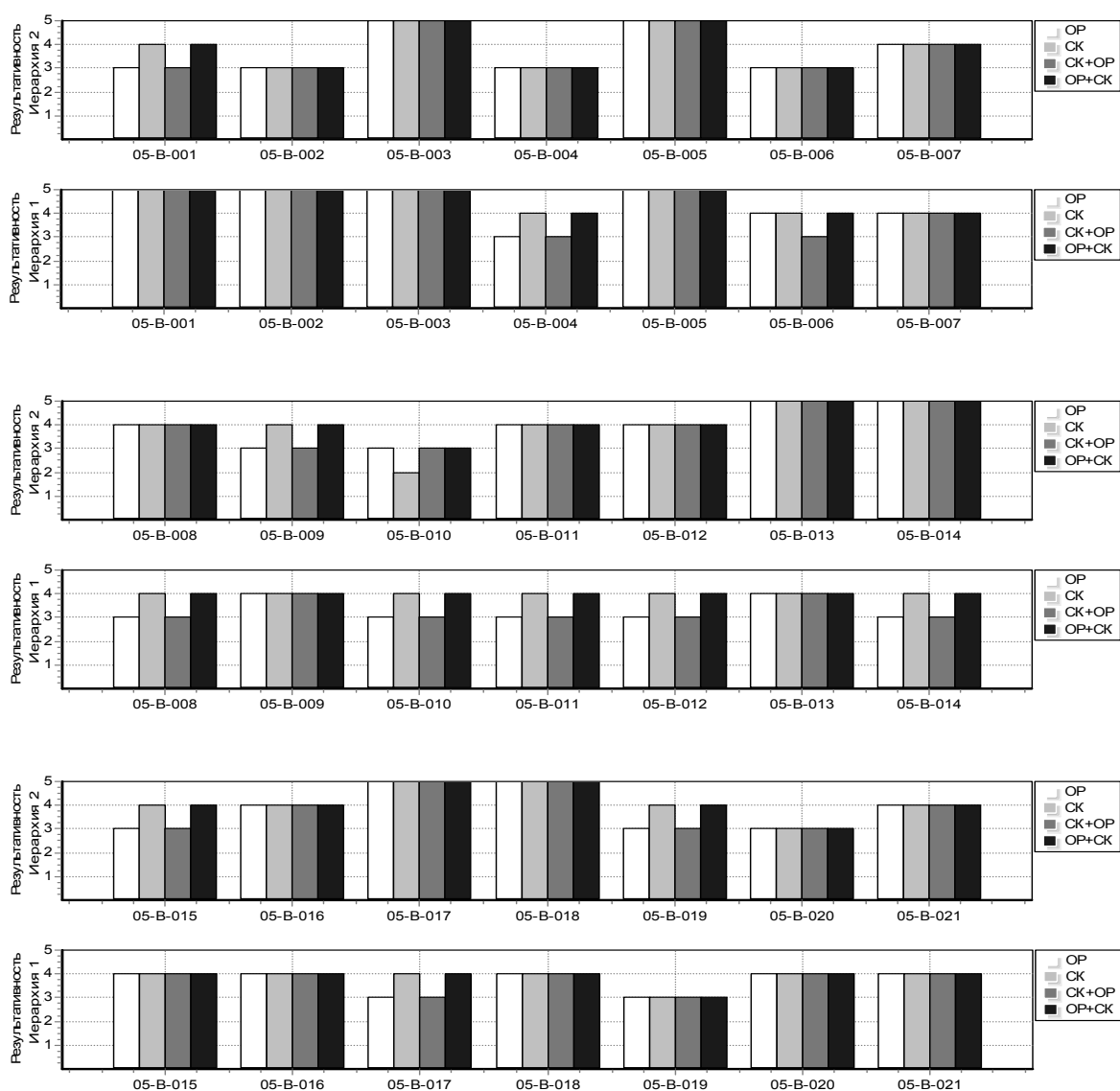


Рис. 4. Распределение проектов по классам результативности

Градации шкалы составного критерия были сформированы с помощью следующих различных методов вербального анализа решений: M_1 – методом ОРКЛАСС (OP) на всех уровнях иерархии; M_2 – методом стратификации кортежей (СК) на всех уровнях иерархии; M_3 – сначала (на нижнем уровне иерархии) методом стратификации кортежей, потом (на верхнем уровне иерархии) методом ОРКЛАСС (СК+OP); M_4 – сначала (на нижнем уровне иерархии) методом ОРКЛАСС, потом (на верхнем уровне иерархии) методом стратификации кортежей (OP+СК). Пример оценки результативности проектов, полученных разными методами с использованием двух типов (рис. 2 и рис. 3) иерархических систем критериев, приведен на рис. 4. В рассмотренном примере использована модельная база данных по результатам целевых ориентированных фундаментальных исследований, которая включает в себя экспертные оценки проектов, которые были завершены в 2007 году по нескольким областям знаний. В частности, в примере на рис. 4, использован 21 итоговый проект по области знания «Информационные, вычислительные, телекоммуникационные ресурсы».

Для выбора лучших проектов был применен метод АРАМИС [Петровский, 2009], который позволяет упорядочивать многопризнаковые объекты на основе противоречивых предпочтений нескольких ЛПР. В этом методе объекты описываются множеством повторяющихся количественных и/или качественных атрибутов Q_1, \dots, Q_m представленных в виде мультимножеств. Многопризнаковые объекты B_1, \dots, B_n рассматриваются как точки метрического пространства мультимножеств (\mathbf{B}, d) с различными метриками d [Петровский, 2003], которые мож-

но сравнивать и упорядочивать по показателю относительной близости к наилучшему (идеальному) объекту B^+ или наихудшему (антиидеальному) B^- в этом пространстве.

Например, метрика типа Хемминга задается формулой [Петровский, 2003]:

$$d_1(A, B) = \sum_{s=1}^m w_s \sum_{e_s=1}^{h_s} |k_A(q_s^{e_s}) - k_B(q_s^{e_s})|,$$

где $w_s > 0$ – коэффициенты относительной важности критериев Q_s .

Наилучший и наихудший объекты (которые могут быть гипотетическими) имеют наилучшие и наихудшие оценки по всем критериям Q_s .

Объекты упорядочиваются по показателю относительной близости к наилучшему объекту $l(B_i) = d_1(B^+, B_i) / [d_1(B^+, B_i) + d_1(B^-, B_i)]$, где $d_1^+(B_i) = d_1(B^+, B_i)$ расстояние до наилучшего объекта B^+ и $d_1^-(B_i) = d_1(B^-, B_i)$ расстояние до наихудшего объекта B^- .

Следует отметить, что метод АРАМИС, ориентированный прежде всего на использование в ситуации, когда необходимо по несогласованным многокритериальным оценкам нескольких ЛПР построить групповую ранжировку, в нашем случае используется, чтобы получить групповую ранжировку на основании предпочтений только одного ЛПР, который использует две различные иерархические системы критериев, построенных комбинациями нескольких методов многокритериального принятия решений. Этот аспект как раз и является одной из иллюстраций применения синергетического эффекта в задачах принятия решений.

Рассмотрим методы M_1, M_2, M_3, M_4 , использованные экспертом для оценки результативности, как новые атрибуты, которые характеризуют проекты. Каждый атрибут M_j имеет оценки $m_j^1, m_j^2, m_j^3, m_j^4, m_j^5$, соответствующие градациям d^1, d^2, d^3, d^4, d^5 шкалы составного критерия D «Результативность проекта». Теперь каждый проект B_i можно представить как множество с повторяющимися элементами или мультимножество B_i , порожденное множеством методов $X = M_1 \cup M_2 \cup M_3 \cup M_4$:

$$B_i = \{k_{B_i}(m_1^1) \circ m_1^1, \dots, k_{B_i}(m_1^5) \circ m_1^5; \dots; k_{B_i}(m_4^1) \circ m_4^1, \dots, k_{B_i}(m_4^5) \circ m_4^5\}.$$

Здесь $k_{B_i}(m_j^{hj})$, $h_j = 1, \dots, 5$, $j = 1, \dots, 4$ показатель кратности, соответствующий тому, сколько значений атрибута встречается в мультимножестве B_i , который показывает, сколько раз метод m_j^{hj} использован экспертом с применением всех типов иерархических систем критериев во время формирования градаций результативности; знак \circ обозначает сколько $k_{B_i}(m_j^{hj})$ раз атрибут m_j^{hj} встречается в описании объекта B_i .

	M_1 ОР					M_2 СК					M_3 СК+ОР					M_4 ОР+СК				
	m_1^1	m_1^2	m_1^3	m_1^4	m_1^5	m_2^1	m_2^2	m_2^3	m_2^4	m_2^5	m_3^1	m_3^2	m_3^3	m_3^4	m_3^5	m_4^1	m_4^2	m_4^3	m_4^4	m_4^5
B_{001}	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
B_{002}	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
B_{003}	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0
B_{004}	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0
B_{005}	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0
B_{006}	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0
B_{007}	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0
B_{008}	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0
B_{009}	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0
B_{010}	0	0	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0
B_{011}	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0
B_{012}	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0
B_{013}	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
B_{014}	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
B_{015}	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0
B_{016}	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0
B_{017}	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0

B_{018}	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
B_{019}	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0
B_{020}	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
B_{021}	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0

Таблица 1. Агрегированные экспертные оценки по проектам

Например, проекты, показанные на рис. 4, представляются в виде мультимножеств, приведенных в таблице 1.

Наилучший проект B^+ и наихудший проект B^- представлены мультимножествами:

$$B^+ = \{2 \circ m_1^1, 0, \dots, 0; 2 \circ m_2^1, 0, \dots, 0; 2 \circ m_3^1, 0, \dots, 0; 2 \circ m_4^1, 0, \dots, 0\},$$

$$B^- = \{0, \dots, 0, 2 \circ m_1^5; 0, \dots, 0, 2 \circ m_2^5; 0, \dots, 0, 2 \circ m_3^5; 0, \dots, 0, 2 \circ m_4^5\}.$$

Расстояния между проектами в метрическом пространстве мультимножеств представлены в табл. 2.

	M_1 OP					M_2 CK					M_3 CK+OP					M_4 OP+CK				
	m_1^1	m_1^2	m_1^3	m_1^4	m_1^5	m_2^1	m_2^2	m_2^3	m_2^4	m_2^5	m_3^1	m_3^2	m_3^3	m_3^4	m_3^5	m_4^1	m_4^2	m_4^3	m_4^4	m_4^5
$d_1^+(B_{001})$	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
$d_1^+(B_{002})$	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
$d_1^+(B_{003})$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$d_1^+(B_{004})$	2	0	2	0	0	2	1	1	0	0	2	0	2	0	0	2	1	1	0	0
$d_1^+(B_{005})$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$d_1^+(B_{006})$	2	1	1	0	0	2	1	1	0	0	2	0	2	0	0	2	1	1	0	0
$d_1^+(B_{007})$	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0
$d_1^+(B_{008})$	2	1	1	0	0	2	2	0	0	0	2	1	1	0	0	2	2	0	0	0
$d_1^+(B_{009})$	2	1	1	0	0	2	2	0	0	0	2	1	1	0	0	2	2	0	0	0
$d_1^+(B_{010})$	2	0	2	0	0	2	1	0	1	0	2	0	2	0	0	2	1	1	0	0
$d_1^+(B_{011})$	2	1	1	0	0	2	2	0	0	0	2	1	1	0	0	2	2	0	0	0
$d_1^+(B_{012})$	2	1	1	0	0	2	2	0	0	0	2	1	1	0	0	2	2	0	0	0
$d_1^+(B_{013})$	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
$d_1^+(B_{014})$	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
$d_1^+(B_{015})$	2	1	1	0	0	2	2	0	0	0	2	1	1	0	0	2	2	0	0	0
$d_1^+(B_{016})$	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0
$d_1^+(B_{017})$	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
$d_1^+(B_{018})$	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
$d_1^+(B_{019})$	2	0	2	0	0	2	1	1	0	0	2	0	2	0	0	2	1	1	0	0
$d_1^+(B_{020})$	2	1	1	0	0	2	1	1	0	0	2	1	1	0	0	2	1	1	0	0
$d_1^+(B_{021})$	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0
$d_1^-(B_{001})$	1	0	1	0	2	1	1	0	0	2	1	0	1	0	2	1	1	0	0	2
$d_1^-(B_{002})$	1	0	1	0	2	1	0	1	0	2	1	0	1	0	2	1	0	1	0	2
$d_1^-(B_{003})$	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2
$d_1^-(B_{004})$	0	0	2	0	2	0	1	1	0	2	0	0	2	0	2	0	1	1	0	2
$d_1^-(B_{005})$	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2	2	0	0	0	2
$d_1^-(B_{006})$	0	1	1	0	2	0	1	1	0	2	0	0	2	0	2	0	1	1	0	2
$d_1^-(B_{007})$	0	2	0	0	2	0	2	0	0	2	0	2	0	0	2	0	2	0	0	2
$d_1^-(B_{008})$	0	1	1	0	2	0	2	0	0	2	0	1	1	0	2	0	2	0	0	2
$d_1^-(B_{009})$	0	1	1	0	2	0	2	0	0	2	0	1	1	0	2	0	2	0	0	2
$d_1^-(B_{010})$	0	0	2	0	2	0	1	0	1	2	0	0	2	0	2	0	1	1	0	2
$d_1^-(B_{011})$	0	1	1	0	2	0	2	0	0	2	0	1	1	0	2	0	2	0	0	2
$d_1^-(B_{012})$	0	1	1	0	2	0	2	0	0	2	0	1	1	0	2	0	2	0	0	2

$d_1^-(B_{013})$	1	1	0	0	2	1	1	0	0	2	1	1	0	0	2	1	1	0	0	2
$d_1^-(B_{014})$	1	0	1	0	2	1	1	0	0	2	1	0	1	0	2	1	1	0	0	2
$d_1^-(B_{015})$	0	1	1	0	2	0	2	0	0	2	0	1	1	0	2	0	2	0	0	2
$d_1^-(B_{016})$	0	2	0	0	2	0	2	0	0	2	0	2	0	0	2	0	2	0	0	2
$d_1^-(B_{017})$	1	0	1	0	2	1	1	0	0	2	1	0	1	0	2	1	1	0	0	2
$d_1^-(B_{018})$	1	1	0	0	2	1	1	0	0	2	1	1	0	0	2	1	1	0	0	2
$d_1^-(B_{019})$	0	0	2	0	2	0	1	1	0	2	0	0	2	0	2	0	1	1	0	2
$d_1^-(B_{020})$	0	1	1	0	2	0	1	1	0	2	0	1	1	0	2	0	1	1	0	2
$d_1^-(B_{021})$	0	2	0	0	2	0	2	0	0	2	0	2	0	0	2	0	2	0	0	2

Таблица 2. Расстояния между проектами в метрическом пространстве мультимножеств

Предполагая все критерии одинаково важными, были вычислены расстояния $d_1^+(B_i)$ и $d_1^-(B_i)$ между отдельным проектом B_i и гипотетически наилучшим (идеальным) B^+ и наихудшим (антиидеальным) B^- проектами в метрическом пространстве мультимножеств, а также показатель относительной близости $l(B_i)$ объекта B_i к гипотетически наилучшему объекту B^+ . Расчеты представлены в таблице 3.

	B_{001}	B_{002}	B_{003}	B_{004}	B_{005}	B_{006}	B_{007}	B_{008}	B_{009}	B_{010}	
$d^+(B_i)$	8	8	0	16	0	16	16	16	16	16	
$d^-(B_i)$	16	16	16	16	16	16	16	16	16		
$l(B_i)$	0,3333	0,3333	0	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
	B_{011}	B_{012}	B_{013}	B_{014}	B_{015}	B_{016}	B_{017}	B_{018}	B_{019}	B_{020}	B_{021}
$d^+(B_i)$	16	16	8	8	16	16	8	8	16	16	16
$d^-(B_i)$	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
$l(B_i)$	0,5	0,5	0,3333	0,3333	0,5	0,5	0,3333	0,3333	0,5	0,5	0,5

Таблица 3. Расстояния с учетом важности критериев

Модельная база данных по результатам целевых ориентированных фундаментальных исследований включала экспертные оценки проектов, которые были завершены в 2007 году по нескольким областям знаний. Так, окончательное упорядочивание проектов по области знания «Информационные, вычислительные, телекоммуникационные ресурсы» (всего 21 проект) в соответствии с показателем $l(B_i)$ выглядит следующим образом:

Ранг 1 ($l=0$) – проекты: B_{003}, B_{005} ;
 Ранг 2 ($l=0,3333$) – проекты: $B_{001}, B_{002}, B_{013}, B_{014}, B_{017}, B_{018}$;
 Ранг 3 ($l=0,5000$) – проекты: $B_{004}, B_{006}, B_{007}, B_{008}, B_{009}, B_{010}, B_{011}, B_{012}, B_{015}, B_{016}, B_{019}, B_{020}, B_{021}$.

Выводы

Сравнение или классификация самоорганизующихся объектов исследований, которые описываются большим числом количественных и качественных признаков, при доминировании последних, является одной из основных задач системного анализа, которая может быть решена с применением синергетического эффекта. Важно отметить, что подобные самоорганизующиеся объекты исследований могут иметь множественные описания (т.е. сразу несколько различных систем критериев оценки), что позволяет их сравнивать или классифицировать с использованием различных методологических подходов (или их комбинаций) и сравнивать (сопоставлять) результаты (решения). Это достаточно важный момент, т.к. выбор той или иной только одной системы критериев иногда предопределяет конечный результат (например, в тендерах при выборе поставщика услуг), что, очевидно, не может приветствоваться.

В рамках представленной методологии предлагается применять комбинации различных методов вербального анализа решений, снижения размерности признакового пространства и методов, основанных на теории метрических пространств мультимножеств. Сочетание вышеперечисленных подходов позволяет успешно решать все типы задач принятия решений (выбо-

ра наилучшей альтернативы, упорядочения альтернатив и разделения альтернатив на упорядоченные группы (классификация)).

Здесь важно отметить, что такой подход позволяет использовать для задач индивидуального выбора методы, исходно ориентированные на групповой выбор (это хорошо иллюстрирует представленный в работе пример, когда метод АРАМИС [Петровский, 2009], использован для ранжировки многопризнаковых объектов только одним ЛПР с применением двух иерархических систем критериев). В дополнение к этому, когда несколько индивидуальных ранжировок (построенных сразу несколькими методами вербального анализа решений, ориентированными на работу с одним ЛРП, например, ЗАПРОС [Ларичев, 2006а], ПАРК [Ларичев и др., 1996] используются несколькими ЛПР [Петровский и др., 2011б]) они могут быть объединены в одну обобщенную ранжировку с использованием также метода АРАМИС.

Новый импульс для развития синергетики в связке с задачами системного анализа и принятия решений дают передовые информационные технологии коммуникаций. В современных условиях мы можем наблюдать лавинообразную «виртуализацию» всех сегментов жизни. Подобная «виртуализация» неразрывно связана с необходимостью повсеместного использования (в ряде случаев мы делаем это неявно и иногда даже не осознаем) различных самоорганизующихся сложных систем (Web-порталов, где могут быть аккумулированы знания сотрудников корпорации; социальных сетей; сетей сотовой связи; интеллектуальных поисковых машин и т.п.), которые являются основным объектом исследований в синергетике.

Представленную концепцию наглядно иллюстрирует рассмотренный пример применения синергетического эффекта в задачах принятия решений (оценка результативности научных проектов) с использованием комбинаций различных методов и нескольких систем критериев оценки. Используемый, в рамках решения представленной задачи, механизм многокритериальной экспертной оценки проектов, основанный на подходе «Peer review» (система оценивания коллегами) может быть также реализован, например, в виде социальной сети. При этом пользователи (эксперты) такой сети будут оценивать проекты (в том числе и проекты друг друга) по многим критериям.

Концептуальным отличием предлагаемого подхода (синергетического эффекта в принятии решений), например, от хорошо известного мультиалгоритмического [фон Нейман, 1956], [Журавлев, 1998], является использование естественного языка (прежде всего вербального) на всех этапах изучения проблемы (постановки, решения и, главное, объяснении принятых решений, что вообще является сильной стороной вербального анализа решений [Ларичев, 2006а], [Петровский, 1996]) и применение множественного описания самоорганизующихся объектов (сразу нескольких различных систем критериев). В этом случае «расплатой» будут конечно дополнительные временные затраты (когда проблема решается несколькими методами с использованием сразу нескольких систем критериев), но в ситуации, когда последствия от неправильно принятых решений весьма существенные (если не сказать катастрофические) это вполне оправданно.

Все эти аспекты требуют взвешенного применения методов системного анализа и дальнейшего развития и совершенствования его методологической базы.

Литература

- [Акофф, 1982] *Акофф Р.* Искусство решения проблем / Под ред. Е. К. Масловского. — М.: Мир, 1982. — 224 с.
- [Асанов и др., 2001] Метод многокритериальной классификации ЦИКЛ и его применение для анализа кредитного риска / А. А. Асанов, О. И. Ларичев, Г. В. Ройзензон и др. // *Экономика и математические методы*. — 2001. — Т. 37, № 2. — С. 14–21.
- [Гвишиани, 1972] *Гвишиани Д. М.* Организация и управление. — 2-е изд. — М.: Наука, 1972. — 536 с.
- [Геловани и др., 2001] Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды / В. А. Геловани, А. А. Башлыков, В. Б. Бритков, Е. Д. Вязилов. — М.: Эдиториал УРСС, 2001. — 304 с.

- [Гладун, 2000] Гладун В. П. Партнерство с компьютером. — К.: «Port-Royal», 2000. — 128 с.
- [Глотов и др., 1984] Глотов В. А., Павельев В. В. Векторная стратификация. — М.: Наука, 1984. — 94 с.
- [Глушков, 1974] Глушков В. М. Введение в АСУ. — 2-е изд. — Киев: Техніка, 1974. — 320 с.
- [Евгеньев, 2010] Евгеньев Г. Б. Синергетическая case-технология создания прикладных интеллектуальных систем // Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2010). Труды конференции. — Т. 3. — М.: Физматлит, 2010. — С. 294–302.
- [Журавлев, 1998] Журавлев Ю. И. Корректные алгебры над множествами некорректных (эвристических) алгоритмов. I, II, III. // Избранные научные труды. — М.: Издательство Магистр, 1998. — 324–377.
- [Загоруйко, 1999] Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. — Новосибирск: Издательство института математики, 1999. — 270 с.
- [Заде, 1976] Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Под ред. А. Н. Колмогорова, С. П. Новикова. Математика. Новое в зарубежной науке № 3. — М.: Мир, 1976. — 168 с.
- [Канеман и др., 2005] Канеман Д., Словик П., Тверски А. Принятие решений в неопределенности: правила и предубеждения. — Харьков: Гуманитарный центр, 2005. — 632 с.
- [Капица и др., 2003] Капица С. П., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г. Синергетика и прогнозы будущего. — 3-е изд. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 288 с.
- [Кестлер, 1993] Кестлер А. Дух в машине // Вопросы философии. — 1993. — № 10. — С. 93–122.
- [Кини и др., 1981] Кини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. — М.: Радио и связь, 1981. — 560 с.
- [Кини, 1983] Кини Р. Л. Размещение энергетических объектов: выбор решений. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 320 с.
- [Киселёв и др., 2010] Система интеллектуального вертикального поиска / А. А. Киселёв, Г. С. Осипов, И. В. Смирнов и др. // Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2010). Труды конференции. — Т. 4. — М.: Физматлит, 2010. — С. 45–53.
- [Крисилов, 2009] Крисилов А. Д. Некоторые компоненты структурной модели формирующейся ноосферной парадигмы // Human Aspects of Artificial Intelligence / Ed. by K. Markov, V. Velychko, K. Ivanova, I. Mitov. — No. 12. — Sofia: FOI ITNEA, 2009. — Pp. 19–26.
- [Крон, 1972] Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика) / Под ред. А. В. Баранова. — М.: Наука, 1972. — 544 с.
- [Кузнецов, 1995] Кузнецов О. П. Неклассические парадигмы в искусственном интеллекте // Известия РАН: Теория и системы управления. — 1995. — №5. — С.3-23.
- [Кузнецов и др., 2011] Сетевые модели: ресурсы, влияния, конфликты / О. П. Кузнецов, Л. Ю. Жилиякова, Д. А. Губанов, С. Г. Куливец // Системный анализ и семиотическое моделирование: материалы первой всероссийской научной конференции с международным участием (SASM-2011) / Под ред. Ю. С. Попкова, Д. Ш. Сулейманова. — Казань: Издательство «Фэн» Академии наук РТ, 2011. — С. 225–232.
- [Кулинич, 2010] Кулинич А. А. Модель поддержки принятия решений в конфликтных ситуациях // Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2010). Труды конференции. — Т. 3. — М.: Физматлит, 2010. — С. 179–188.
- [Ларичев, 1975] Ларичев О. И. Системный анализ: проблемы и перспективы // Автоматика и телемеханика. — 1975. — Т. 36, № 2. — С. 61–71.
- [Ларичев, 1979] Ларичев О. И. Наука и искусство принятия решений. — М.: Наука, 1979. — 200 с.
- [Ларичев и др., 1988] Ларичев О. И., Мечитов А. И. Методологические проблемы анализа риска и безопасности использования новых технологий // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник / Под ред. Д. М. Гвишиани, В. Н. Садовского. — № 19. 1987. М.: Наука, 1988. — С. 26–44.

- [Ларичев и др., 1989] Опыт планирования фундаментальных исследований на конкурсной основе / О. И. Ларичев, А. С. Прохоров, А. Б. Петровский и др. // *Вестник АН СССР*. — 1989. — № 7. — С. 51–61.
- [Ларичев и др., 1996] Ларичев О. И., Мошкович Е. М. Качественные методы принятия решений. — М.: Физматлит, 1996. — 208 с.
- [Ларичев и др., 2002] Ларичев О., Красненкер А., Стернин М. Принятие решений в организациях с использованием коллективного опыта менеджеров — методика и автоматизированная система поддержки // *Директор ИС*. — 2002. — № 3. — С. 30–36.
- [Ларичев, 2006а] Ларичев О. И. Вербальный анализ решений / Под ред. А. Б. Петровского. — М.: Наука, 2006. — 181 с.
- [Ларичев, 2006б] Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также хроника событий в волшебных странах. — 3-е изд. — М.: Логос, 2006. — 392 с.
- [Лившиц и др., 2011] Лившиц В.Н., Тищенко Т.И., Фролова М.П., Лившиц С.В. Современные методы системного анализа – связь с кибернетикой и синергетикой // Четвертая международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2011). Труды конференции в 2 т. — Т. 1. — Челябинск: Издательство ЧГУ, 2011. — С. 14–22.
- [Лопухин, 1971] Лопухин М. М. ПАТТЕРН — метод планирования и прогнозирования научных работ. — М.: Советское радио, 1971. — 160 с.
- [Мазур, 1974] Мазур М. Качественная теория информации. — М.: Мир, 1974. — 240 с.
- [Макеев и др., 1991] Макеев С. П., Шахнов И. Ф. Упорядочение объектов в иерархических системах // *Известия АН СССР. Серия «Техническая кибернетика»*. — 1991. — № 3. — С. 29–46.
- [Малишевский, 1998] Малишевский А. В. Качественные модели в теории сложных систем. — М.: Физматлит, 1998. — 528 с.
- [Месарович и др., 1973] Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. — М.: Мир, 1973. — 344 с.
- [Местецкий, 2009] Местецкий Л. М. Непрерывная морфология бинарных изображений: фигуры, скелеты, циркуляры. — М.: Физматлит, 2009. — 288 с.
- [Макаров, 1979] Методы и модели согласования иерархических решений / Под ред. А. А. Макарова. — Новосибирск: Наука, 1979. — 240 с.
- [Миркин, 2000] Миркин Б. Г. Анализ качественных признаков и структур. — М.: Статистика, 1980. — 319 с.
- [Мишин, 2004] Мишин С. П. Оптимальные иерархии управления в экономических системах. — М.: ПМСОФТ, 2004. — 190 с.
- [Моисеев, 2003] Моисеев Н. Н. Информационная теория иерархических систем // *Избранные труды в 2-х томах* / Под ред. А. А. Петрова. — М.: Гайдекс Ко, 2003. — Т. 1. Гидродинамика и механика. Оптимизация, исследование операций и теория управления. — С. 214–266.
- [Николис и др., 1979] Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации / Под ред. Ю. А. Чизмадзе. — М.: Мир, 1979. — 512 с.
- [Озерной и др., 1978] Озерной В. М., Гафт М. Г. Методология решения дискретных многокритериальных задач // Многокритериальные задачи принятия решений / Под ред. Д. М. Гвишиани, С. В. Емельянова. — М.: Машиностроение, 1978. — С. 14–47.
- [Петровский, 1994] Петровский А. Б. Системы поддержки принятия решений для структуризации и анализа качественных альтернатив: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 01.01.11 / ИСА РАН. — М., 1994. — 169 с.
- [Петровский, 1996] Петровский А. Б. Компьютерная поддержка принятия решений: современное состояние и перспективы развития // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник / Под ред. Д. М. Гвишиани, В. Н. Садовского. — № 24. 1995-1996. М.: Эдиториал УРСС, 1996. — С. 146–178.
- [Петровский, 2003] Петровский А. Б. Пространства множеств и мультимножеств. — М.: Эдиториал УРСС, 2003. — 248 с.

- [Петровский, 2005] Петровский А. Б. Групповой вербальный анализ решений: подход теории мультимножеств // Первая международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2005). Труды конференции в 2 т. — Т. 1. — М.: КомКнига, 2005. — С. 283–290.
- [Петровский и др., 2008а] 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.: Издательство ЛКИ, 2008. — Т. 35. — С. 43–53.
- [Петровский и др., 2008б] Петровский А. Б., Ройзензон Г. В. Снижение размерности признакового пространства в задачах многокритериальной классификации: стратификация кортежей // Одиннадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2008). Труды конференции. — Т. 2. — М.: Ленанд, 2008. — С. 262–270.
- [Петровский, 2009] Петровский А. Б. Теория принятия решений: учебник для студентов высших учебных заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2009. — 400 с.
- [Петровский и др., 2009] Многокритериальный подход к оценке результативности научных проектов / А. Б. Петровский, Г. В. Ройзензон, И. П. Тихонов, А. В. Балышев // *Вестник национального технического университета «ХПИ»*. — 2009. — № 43. — С. 138–148.
- [Петровский и др., 2010] 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 (КИИ-2010). Труды конференции. — Т. 3. — М.: Физматлит, 2010. — С. 201–207.
- [Петровский и др., 2011а] Многокритериальная экспертная оценка и анализ эффективности деятельности научных организаций / А. Б. Петровский, Г. В. Ройзензон, И. П. Тихонов и др. // Четвертая международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2011). Труды конференции в 2 т. — Т. 1. — Челябинск: Издательство ЧГУ, 2011. — С. 155–159.
- [Петровский и др., 2011б] Петровский А. Б., Ройзензон Г. В. Групповой многокритериальный выбор вычислительных кластеров // *Applicable Information Models* / Ed. by K. Markov, V. Velychko. — No. 22. — Sofia: ITNEA, 2011. — Pp. 23–29.
- [Попков и др., 2004] Попков Ю. С., Тищенко В. И. Виртуальные сообщества в структуре власти (методологические аспекты). — М.: УРСС, 2004. — 184 с.
- [Попов, 2001] Попов Э. В. Корпоративные системы управления знаниями // *Новости искусственного интеллекта*. — 2001. — июль. — № 1. — С. 14–25.
- [Поспелов и др., 1999] Поспелов Д.А., Осипов Г.С. Прикладная семиотика // *Новости искусственного интеллекта*. — 1999. — №1. — С.9-35.
- [Рапопорт и др., 1978] Рапопорт А. М., Шнейдерман М. В. Анализ экспертных суждений, заданных в виде структур // Прикладной многомерный статистический анализ: Ученые записки по статистике / Под ред. С. А. Айвазяна, А. И. Орлова. — М.: Наука, 1978. — Т. 33. — С. 150–164.
- [Ройзензон, 2005а] Ройзензон Г. В. Способы снижения размерности признакового пространства для описания сложных систем в задачах принятия решений // *Новости искусственного интеллекта*. — 2005. — № 1. — С. 18–28.
- [Ройзензон, 2005б] Ройзензон Г. В. Многокритериальный выбор вычислительных кластеров // Методы поддержки принятия решений: Сборник трудов Института системного анализа РАН / Под ред. С. В. Емельянова, А. Б. Петровского. — М.: Едиториал УРСС, 2005. — Т. 12. — С. 68–94.
- [Ройзензон, 2006] Ройзензон Г. В. Решение проблемы несравнимости многокритериальных альтернатив с использованием метода «ИСКРА» // Труды Десятой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2006). — Т. 3. — М.: Физматлит, 2006. — С. 792–798.
- [Ройзензон, 2007] Ройзензон Г. В. Об одном подходе к оценке качества построения иерархических систем критериев // Вторая международная конференция «Системный анализ и информа-

- ционные технологии» (САИТ-2007). Труды конференции в 2 т. — Т. 1. — М.: Издательство ЛКИ, 2007. — С. 225–227.
- [Ройзензон, 2008] *Ройзензон Г. В.* Интерактивные методы снижения размерности признакового пространства в задачах многокритериального принятия решений: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.13.10 / ИСА РАН. — М., 2008. — 136 с.
- [Саати, 1993] *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.
- [Саймон, 2004] *Саймон Г.* Науки об искусственном. — 2-е изд. — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 144 с.
- [Смирнов и др., 2010] *Смирнов А. В., Левашова Т. В., Шилов Н. Г.* Контекстно-зависимая самоорганизация ресурсов интеллектуальной среды при совместных действиях // *Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Перспективные системы и задачи управления».* — 2010. — № 3(104). — С. 28–32.
- [Стенли, 1990] *Стенли Р.* Перечислительная комбинаторика. — М.: Мир, 1990. — 440 с.
- [Стефанюк, 2004] *Стефанюк В. Л.* Локальная организация интеллектуальных систем. Модели и приложения. — М.: Физматлит, 2004. — 328 с.
- [Тарасов, 2002] *Тарасов В. Б.* От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. — М.: Едиториал УРСС, 2002. — 352 с.
- [Тимофеев-Ресовский, 2008] Воспоминания. Николай Тимофеев-Ресовский / Под ред. Н. И. Дубровиной. — М.: Вагриус, 2008. — 400 с.
- [Тищенко, 2011] *Тищенко В. И.* Эволюция парадигмы системного анализа // Четвертая международная конференция «Системный анализ и информационные технологии» (САИТ-2011). Труды конференции в 2 т. — Т. 2. — Челябинск: Издательство ЧГУ, 2011. — С. 73–74.
- [Тищенко и др., 2010] *Тищенко В. И., Жукова Т. И., Попков Ю. С.* Коммуникативные инструменты информатики сообществ // Информатика сообществ: Системный анализ и инструменты. Труды Института системного анализа Российской академии наук / Под ред. В. И. Тищенко. — М.: УРСС, 2010. — Т. 55.
- [Финн, 1999] *Финн В. К.* Философские проблемы логики интеллектуальных систем // *Новости искусственного интеллекта.* — 1999. — №1. — С.36-51
- [Фомичев, 2004] *Фомичев А. Н.* Самоорганизация и развитие в экологии: синергетический аспект // Системные исследования. Ежегодник. 2002. — М.: УРСС, 2004. — С. 67–79.
- [фон Берталанфи, 1969] *фон Берталанфи Л.* Общая теория систем – обзор проблем и результатов // Системные исследования. Ежегодник. — М.: Наука, 1969. — С. 30–54.
- [фон Нейман, 1956] *фон Нейман Дж.* Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент // *Автоматы* / Под ред. А. А. Ляпунова. — М.: Иностранная литература, 1956. — С. 68–139.
- [Фридман и др., 2006] *Фридман А. Я., Фридман О. В.* Поддержка принятия решений по управлению структурой иерархических пространственных систем // Труды Десятой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2006). — Т. 3. — М.: Физматлит, 2006. — С. 774–782.
- [Хакен, 1980] *Хакен Г.* Синергетика. — 2-е изд. — М.: Мир, 1980. — 405 с.
- [Хокинс и др., 2007] *Хокинс Дж., Блейкли С.* Об интеллекте. — М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. — 240 с.
- [Хорошевский, 2008] *Хорошевский В. Ф.* Пространства знаний в сети Интернет и Semantic Web (часть 1) // *Искусственный интеллект и принятие решений.* — 2008. — № 1. — С. 80–97.
- [Хорошевский, 2009] *Хорошевский В. Ф.* Пространства знаний в сети Интернет и Semantic Web (часть 2) // *Искусственный интеллект и принятие решений.* — 2009. — № 4. — С. 15–36.
- [Чернавский, 2004] *Чернавский Д. С.* Синергетика и информация (динамическая теория информации). — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 288с.
- [Эбелинг и др., 2005] *Эбелинг В., Файстель Р.* Хаос и космос: синергетика эволюции. — Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований; НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. — 336 с.

[**Янковская, 2010**] Янковская А. Е. Принятие субоптимальных решений в интеллектуальных системах, основанных на тестовых методах распознавания образов // Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2010). Труды конференции. — Т. 3. — М.: Физматлит, 2010. — С. 170–178.

[**Argote et al., 2000**] Knowledge Transfer in Organizations: Learning from the Experience of Others / L. Argote, P. Ingram, J. M. Levine, R. L. Moreland // *Organizational Behavior and Human Decision Processes*. — 2000. — May. — Vol. 82, no. 1. — Pp. 1–8.

[**Minsky, 1963**] Minsky, M. 1963. Steps toward artificial intelligence. In E. A. Feigenbaum and J. Feldman, eds., *Computers and thought*. New York: McGraw-Hill, pp. 406 — 450.

[**Sherrington, 1906**] Sherrington C. S. *The integrative action of the nervous system*. — New Haven: Yale University Press, 1906.

[**Simon et al., 1958**] Simon H., Newell A. Heuristic problem solving: the next advance in operations research // *Operations Research*. — 1958. — vol. 6, № 1, pp. 1-10.