

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ СОГЛАСОВАННЫХ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ ПРОЕКТОВ. ЧАСТЬ 2

Д.А. Шагеев

Международный институт дизайна и сервиса, г. Челябинск, Россия

Результаты углублённого анализа научных трудов позволили выявить проблемы (ограничения, недостатки и противоречия) на базе которых сформулировано направление дальнейшего развития финансового менеджмента в части выбора эффективных проектов. В границах обозначенного направления предложена новая методика разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов. В методике содержится два фундаментальных положения, обладающих научной новизной для финансовой и математической науки: синтез метода анализа иерархий (МАИ) с методами математической статистики; синтез МАИ с методами теории нечётких множеств и методами математической статистики. Первое положение было раскрыто в предыдущей статье автора. Данная статья направлена на представление второго положения.

Полученные результаты углублённого анализа позволили не только сформулировать новую методику, но и модернизировать классическое представление МАИ Т. Саати для исправления в ней недостатков, противоречий и преодоления ограничений в части: расширения и уточнения шкалы экспертных суждений Т. Саати; введения новых обозначений матричных оценок; использования не только однотипных, но и разных форм нечётких и чётких (пустых) множеств в границах матрицы парных сравнений; предложения новых операций парных сравнений в МАИ с нечёткими множествами; разработки новых принципов формирования нечёткого множества вариантов транзитивных цепей; замены или дополнения показателя отношения согласованности нечётких оценок в матрице парных сравнений критериями математической статистики. Модернизированная версия МАИ поможет решить разные теоретические и практические проблемы многокритериального выбора в разных областях науки с высокой степенью универсальности и гибкости. В завершении статьи определён потенциал развития методики и МАИ.

Ключевые слова: проект, инвестиционный проект, управленческие решения, экспертные оценки, согласование, метод анализа иерархий, нечёткие множества, математическая статистика.

По мере того, как сложность возрастает, точные утверждения теряют значимость, а значимые утверждения теряют точность.

Л. Заде

Введение

Ранее была опубликована статья, где автор провёл углублённый анализ научных трудов для обоснования необходимости в новой методике разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов и формирования её концептуального представления в виде схемы [19]. В следующей статье [20] автор сформулировал ядро и раскрыл первое фундаментальное положение методики, обладающей научной новизной для финансовой и математической науки: синтез метода анализа иерархий (МАИ) с методами математической статистики. В данной статье представлено второе положение: синтез МАИ с методами теории нечётких множеств и методами математической статистики. Необходимость разработки второго положения для методики вызвано такими объективными причинами, как наличие всех или некоторых объектов попарного оценивания в иерархии, привязанных к двум, трём, четырём и более измерениям.

Также будут предложены решения и некоторых других проблем (ограничения, недостатки и противоречия) применения МАИ в методике.

Синтез МАИ с методами теории нечётких множеств и методами математической статистики в методике разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов

Основателем аппарата нечётких множеств был Л.А. Заде. На сегодняшний день в мировой науке и практике известны следующие научные труды Л.А. Заде [54, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 63], переведённые на русский язык [6, 7]. Кроме того следует отметить труды Л.А. Заде и его соавторов без которых теория нечётких множеств не смогла бы развиваться до современного состояния и решить разные проблемы в науке: Ч.А. Дезоер [7]; Р.Е. Белман [22]; Х.Дж. Зиммерманн и А.Р. Гейнс [31]; К.-С. Фу, К. Танака и М. Шимура [58]; И. Санчес [61]; Дж. Кацпрэйк [62]; К.Т. Леондес [64]; др. Особенно следует отметить совместный

труд К.Т. Леондеса и Л.А. Заде [64], который объединил большую часть публикаций XX в. в области развития математического аппарата нечётких множеств с участием более 100 учёных из разных стран мира. Также следует выделить труды Л.А. Заде, выполненные при поддержке зарубежных и отечественных редакторов: И. Кокс [26]; Н.Н. Моисеев и С.А. Орловский [6]; Г.С. Поспелов [7].

Заслуживают внимания отечественные публикации, в которых решалась проблема выбора эффективных проектов **только** при помощи (источник: научная электронная библиотека eLIBRARY.RU):

1) теории нечётких множеств под авторством: В.М. Аньшина, И.В. Демкина, И.Н. Царькова и И.М. Никонова [1]; А.И. Бородина, Е.Д. Стрельцовой и Е.В. Каткова [2]; Е.Н. Лихошерст, Л.С. Мазелиса и А.Я. Чена [15]; Е.М. Ремезовой и В.Г. Чернова [17]; М.С. Чвановой, И.А. Киселевой и А.А. Молчанова [18]; др.

2) метода анализа иерархий: К.Д. Зайцев [8]; Т.К. Кравченко [12]; Д.Л. Куликов и В.А. Лыкова [13]; А.М. Курчик [14]; Н.В. Путивцева, С.В. Игрунова, Л.В. Мигаль и др. [16]; др.

Справедливости ради следует отметить публикации зарубежных коллег, которые тоже решали проблему выбора эффективных проектов в разных областях науки и практики, исключительно при помощи (источник: Scopus; Web Of Science):

1) методов нечёткой математики (**F – Fuzzy; FS – Fuzzy-sets**): Х. Джафарзаде, П. Акбари и Б. Абедин [33]; К. Халили-Дамгани и С. Сади-Нежад [35]; М. Халилзаде и К. Салехи [36]; Л.Н. Насиф, Дж.Ц.С. Филхо и Дж.М. Ногейра [43]; Ф. Переза, Т. Гомез, Р. Кабалеро и В. Лиерн [44]; М. Салехи [47]; Ю. Ву, Ч. Ксюй, Ю. Ке, К. Чен и Э. Сан [53]; *мн. др.*

2) метода анализа иерархий (**AHP – Analytic Hierarchy Process**): З.Д.Ю. Дурмасоглю [28]; М. Гарбузова-Шлифтер и Р. Мадленер [32]; С. Мандал [39]; В. Питаван и К. Сутивартнаруэпут [45]; М. Сёби, Дж. Столдит, Э. Шлегель и М. Путц [49]; *мн. др.*

К сожалению, автор данной статьи не обнаружил публикаций в научной электронной библиотеке, где можно было бы наблюдать хоть какой-то опыт синтеза МАИ с методами теории нечётких множеств. Данная статья является первой попыткой осуществить этот синтез в отечественной науке на базе существующих исследований зарубежных коллег (источник: Scopus; Web Of Science):

1) попытка синтеза МАИ с методами теории нечётких множеств (**FAHP – Fuzzy Analytic Hierarchy Process**) для решения проблемы выбора эффективных проектов: Ч.Х. Ченг, Дж-Дж-Х. Лиоу и Ч.Ю. Чиу [25]; М. Енеэ [29]; С. Махмоджадех, Дж. Шахраби, М. Паряжэр и М.С. Заери [41];

К. Салехи [46]; М. Тавана, М. Кераматпоур, Ф.Дж. Сантос-Артэга и Е. Горбаниан [51]; др.;

2) попытка синтеза МАИ с методами теории нечётких множеств (**FAHP – Fuzzy Analytic Hierarchy Process**) для решения проблемы выбора эффективных решений в других областях науки: Х.О. Аньячи и С.Э. Адекола [21]; Э. Цеби и Х. Карал [24]; Х. Фазлоллахтабар, Х. Ислами и Х. Салмани [30]; Л. Джинг, Б. Чен, Б. Чжан и Х. Пенг [34]; Т. Ли, Дж. Джин и Ч. Ли [38]; П. Махендран, М.Б.К. Моорти и С. Сараванан [40]; Х. Моенни [42]; М. Севкли, Э. Ожтекин, О. Юсэл и др. [48]; др.;

3) попытка синтеза МАИ с методами теории нечётких множеств (**FAHP – Fuzzy Analytic Hierarchy Process**) для решения разных проблем многокритериального выбора альтернатив в области математики: Д. Бозаник, Д. Памукар и Д. Божаник [23]; Ю.Х. Тэнг и Т.В. Лин [50]; М.Х. Вахидния, Э. Элешейкх, Э. Элимохаммэди и Э. Бассири [52]; др.

Результаты расширенного анализа указанных источников будут представлены в отдельной статье (данный материал у автора уже есть и готовится к изданию). Некоторые элементы анализа уже раскрыты в этой и других статьях автора [19, 20].

Отличительные особенности предлагаемой методики «Разработка согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов» от указанных и других источников, которые вошли в список литературы по причине объективного ограничения объёма статьи, где используется МАИ или аппарат нечётких множеств, или их синтез следующие:

1) базируется на синтезе МАИ с методами теории нечётких множеств **и методами математической статистики (FAHPMS – Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Mathematical Statistics)**;

2) есть возможность использования не только однотипных, но и разных форм нечётких множеств для представления элементов иерархии в рамках матриц парных сравнений;

3) обладает возможностью включения в процедуру парного оценивания элементов иерархии в форме пустых множеств совместно с другими формами нечётких множеств;

4) содержит новые обозначения элементов, новые операции попарного сравнения (оценивания) элементов в разных формах нечётких и пустых множеств в границах матриц иерархии;

5) имеет возможность оценки уровня согласованности экспертных суждений в разных формах нечётких и пустых множеств, выраженных в конечном счёте в агрегированных матричных оценках при помощи критериев математической статистики;

6) содержит возможность замены или дополнения показателя отношения согласованности не-

чётких оценок в матрице парных сравнений критериями математической статистики;

7) обладает расширенной и уточнённой шкалой экспертных суждений Т. Саати;

8) включены новые принципы формирования нечёткого множества вариантов транзитивных цепей.

Представленные отличительные особенности раскрывают второе фундаментальное положение методике, обладающее научной новизной для финансовой и математической науки: синтез МАИ с методами теории нечётких множеств и методами математической статистики. **Именно это положение автор раскрывает в данной статье.**

Также следует знать, что первое положение «Синтез МАИ с методами математической статистики (АНРМС – **Analytic Hierarchy Process and Mathematical Statistics**)» помогло сформировать ядро методике и было раскрыто в другой публикации автора [20]. Напомнить и эти отличительные особенности методике от рассмотренных источников:

1) содержит универсальную иерархию проблемы выбора эффективного проекта на базе разных критериев и показателей, которые могут исключаться, заменяться и дополняться по требованию заказчиков, экспертов или других заинтересованных сторон исследования;

2) базируется на синтезе МАИ с методами математической статистики для оценки согласованности экспертных суждений, выраженных в агрегированных матричных оценках через следующие критерии: Пирсона; Колмогорова-Смирнова; и др.

3) обладает новым показателем уровня результирующей согласованности решений (УРСР), измеряемого по вербально-числовой шкале Е. Харрингтона в сочетании с такими характеристиками как консенсус, компромисс, конфликт средней и высшей тяжести.

Ещё несколько особенностей, которые объединяют оба положения:

1) наличие в методике возможности разработки и принятия сбалансированных управленческих решений четырёх порядков;

2) определён потенциал дальнейшего развития методике и МАИ с учётом изложенных и других отличительных особенностей.

Кроме того, представленные отличительные особенности в форме двух фундаментальных положений методике модернизируют сам МАИ через преодоления его ограничений, сокращения или исключения недостатков, разрешения противоречий. В результате повышается степень универсальности применения и МАИ и методике [19, 20].

Таким образом, указанные отличительные особенности дают возможность приращения научного знания в области использования анализа иерархий, аппарата нечётких множеств и математи-

ческой статистики в едином комплексе при решении задач многокритериального выбора в разных областях человеческой деятельности, в том числе и в методике разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов.

С учётом результатов анализа и указанных автором данной статьи отличительных особенностей интегрируем аппарат нечётких множеств для процедуры попарного оценивания объектов в МАИ. Следует сразу сделать важное уточнение для методике по поводу использования аппарата нечётких множеств только для сравниваемых объектов, принадлежащих **четвёртому уровню иерархии** (рис. 1). С полным описанием иерархии, изображённой на рисунке 1, можно ознакомиться в предыдущей публикации автора [20].

Например, возьмём ветку «Инвестиционная эффективность» (второй уровень иерархии), которая соединяется только со своими элементами третьего уровня «**IC, NPV, ..., Ai**», а каждый элемент третьего уровня соединяется только со своими такими же элементами на **четвёртом уровне**, относящихся к проектам (**IC соединяется только с IC1, ..., ICi; NPV соединяется только с NPV1, ..., NPVi; Ai соединяется только с A1, ..., Ai**). Именно такое автономное соединение элементов **третьего уровня** иерархии с элементами **четвёртого уровня** позволяет интегрировать аппарат нечётких множеств в методике. Тогда сравниваемые элементы в рамках одной матрицы можно будет записать следующим образом:

$$\{A_1; A_2; \dots; A_{iL_3}\}, \quad (1)$$

где A_{iL_3} – элемент третьего уровня (**Level**) иерархии; A_{iL_4} – элементы четвёртого уровня иерархии в форме нечётких чисел, как правило привязанных к конкретным измерениям; $\mu_{A_i}(x)$ – функции принадлежности нечётких чисел элементов **четвёртого уровня** иерархии; $x \in [0; 1]$ – область определения нечётких множеств.

При разработке проектов не редко используют метод сценариев. При этом обычно разрабатывают два, три или реже четыре сценария реализации и завершения проекта с разными аналитическими данными. Чаще всего для формализации этих данных в экономической и управленческой науке используют нечёткие множества треугольного или трапецеидального вида [1, 2, 15, 17, 18, 25, 29, 33, 35, 36, 41, 43, 44, 46, 47, 51, 53]. Используем эти виды и запишем их в аналитическом выражении применительно к нашей методике для представления элементов **четвёртого уровня** иерархии в матрице парных сравнений на базе формул (1) и (2):

$$\begin{cases} A_a^i; A \\ A_a^j; A \end{cases} \quad (2)$$

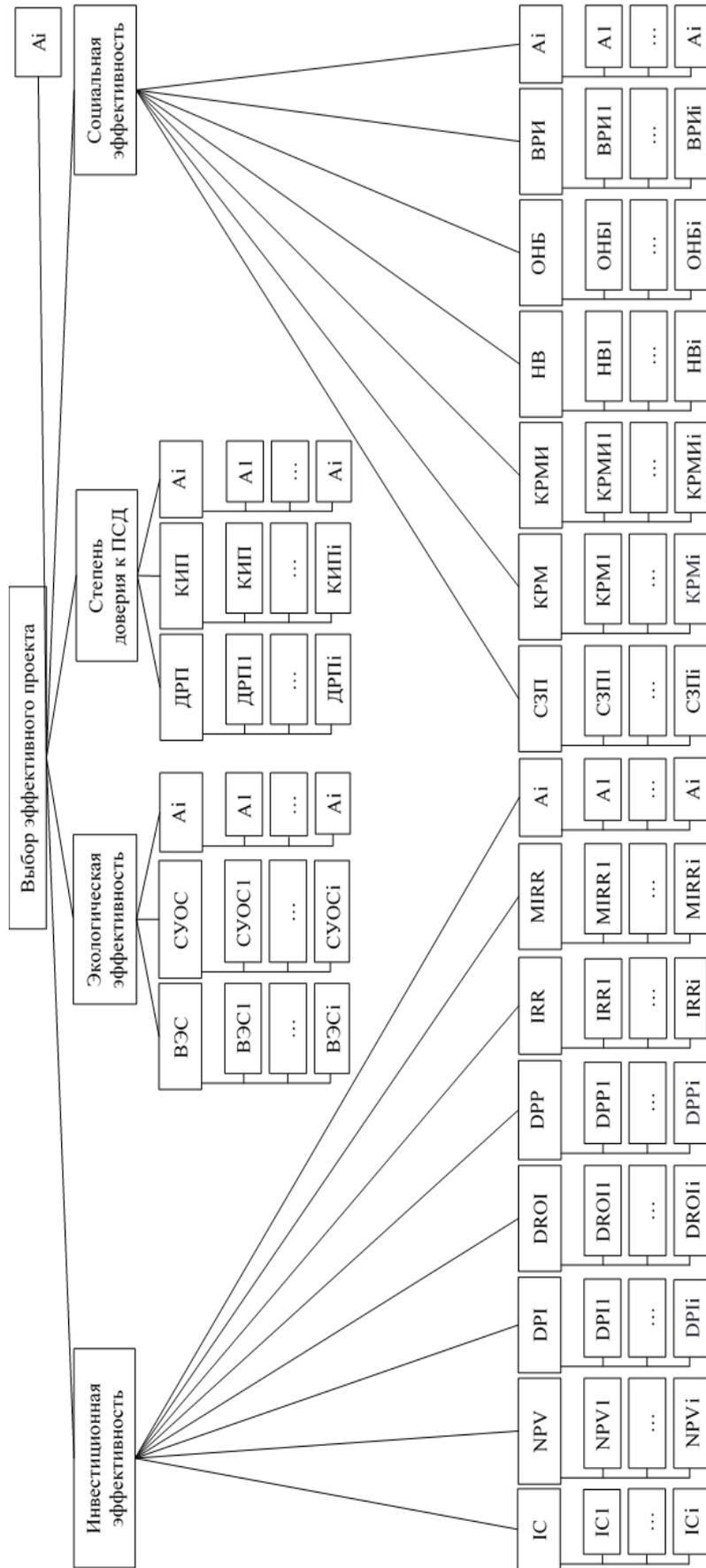


Рис. 1. Иерархия проблемы выбора эффективного проекта [20]

$$A_i(j) = \begin{cases} \{A_a^i; A_b^i; A_c^i\} \\ \{A_a^j; A_b^j; A_c^j\} \end{cases} \quad (4)$$

$$A_i(j) = \begin{cases} \{A_a^i; A_b^i; A_c^i; A_d^i\} \\ \{A_a^j; A_b^j; A_c^j; A_d^j\} \end{cases} \quad (5)$$

где $A_i(j)$ – элементы (объекты) матриц парных сравнений в форме нечётких чисел для треугольной (3, 4) и трапецеидальной (5) формы; $\{A_a^i; A_b^i\}$ и $\{A_a^j; A_b^j\}$ – значения элементов матриц парных сравнений, принадлежащих i -й строке и j -му столбцу в виде терм множеств (a и b) для треугольной формы; $\{A_a^i; A_b^i; A_c^i\}$ и $\{A_a^j; A_b^j; A_c^j\}$ – значения элементов матриц парных сравнений, принадлежащих i -ой строке и j -му столбцу в виде терм множеств (a, b и c) для треугольной формы; $\{A_a^i; A_b^i; A_c^i; A_d^i\}$ и $\{A_a^j; A_b^j; A_c^j; A_d^j\}$ – значения элементов матриц парных сравнений, принадлежащих i -ой строке и j -му столбцу, в виде терм множеств (a, b, c и d) для трапецеидальной формы.

Для упрощённого восприятия формул (3)–(5), где нечёткие числа представлены с учётом свойства обратной симметричности матриц в МАИ, предлагается следующая их запись:

$$A_i(j) = \{A_a^{i(j)}; A_b^{i(j)}\};$$

$$A_i(j) = \{A_a^{i(j)}; A_b^{i(j)}; A_c^{i(j)}\};$$

$$A_i(j) = \{A_a^{i(j)}; A_b^{i(j)}; A_c^{i(j)}; A_d^{i(j)}\}.$$

Если в поле матрицы объекты $A_i(j)$ в форме нечётких чисел представлены только в треугольной или трапецеидальной форме, то эксперты могут их сравнивать для выставления матричных оценок a_{ij} при помощи следующих действий на выбор:

1) сравниваются друг с другом только терм множества a или только b, или только c, или только d (для трапецеидальной формы);

2) для каждого нечёткого числа выбирается только одно число из терм множеств в него входящих a или b, или c, или d (для трапецеидальной формы), а потом производится их сравнение;

3) выбирается только одно число, входящее в один и тот же интервал терм множеств для всех сравниваемых нечётких чисел в матрице:

а) для треугольной функции [a; b] или [b; c];

б) для трапецеидальной функции [a; b] или [b; c], или [c; d];

4) выбирается любое число в границах полного интервала функции: для треугольной формы [a; b] или [a; c]; для трапецеидальной формы [a; d];

5) суммируются точки перехода для каждого нечёткого числа:

а) начальные и конечные точки перехода нечёткого числа для следующих форм:

$$A_i(j) = A_a^{i(j)} + A_b^{i(j)}$$

или

$$A_i(j) = A_a^{i(j)} + A_c^{i(j)};$$

трапецеидальной

$$A_i(j) = A_a^{i(j)} + A_d^{i(j)};$$

б) все точки перехода для следующих форм: треугольной

$$A_i(j) = A_a^{i(j)} + A_b^{i(j)}$$

или

$$A_i(j) = A_a^{i(j)} + A_b^{i(j)} + A_c^{i(j)};$$

трапецеидальной

$$A_i(j) = A_a^{i(j)} + A_b^{i(j)} + A_c^{i(j)} + A_d^{i(j)}.$$

Операция суммирования в пятом пункте является алгебраической и по своей логике не имеет ничего общего с операцией объединения нечётких множеств Л.А. Заде. Для решения практической задачи попарной оценки нечётких объектов в матрице МАИ при отсутствии определённости экспертного суждения эта операция будет полезной и логичной, хотя и выполняется с нарушением математических правил работы с нечёткими множествами. Для пользователя методики – это действие будет очень простым и главное понятным, сам математический аппарат нечётких множеств нуждается в развитии и дополнении в связи с вскрытыми обстоятельствами в предлагаемой методике. В будущих статьях автор попытается интегрировать эти и другие обстоятельства в теоретический аппарат нечётких множеств с соблюдением правил нечёткой математики.

Если в поле матрицы объекты $A_i(j)$ представлены и в треугольной, и в трапецеидальной нечёткой форме, то эксперты могут их сравнивать для выставления матричных оценок a_{ij} при помощи следующих действий на выбор:

1) для каждого элемента матрицы $A_i(j)$ в форме нечёткого числа выбирается только одно число из терм множеств в него входящих a или b, или c, или d (для трапецеидальной формы), а потом производится их сравнение;

2) выбирается любое число в границах полного интервала функции: для треугольной формы [a; b] или [a; c]; для трапецеидальной формы [a; d];

3) суммируются начальные и конечные точки перехода для каждого нечёткого числа следующих форм:

треугольной

$$A_i(j) = A_a^{i(j)} + A_b^{i(j)}$$

или

$$A_i(j) = A_a^{i(j)} + A_c^{i(j)};$$

трапецеидальной

$$A_i(j) = A_a^{i(j)} + A_d^{i(j)}.$$

Если в поле матрицы элементы $A_i(j)$ нечётко представлены и в треугольной, и в трапецеидальной, и в пустой форме ($A_i(j) = \emptyset = A_a^{i(j)}$), то эксперты могут их сравнивать для выставления матричных оценок a_{ij} при помощи следующих действий на выбор:

1) для каждого нечёткого числа $A_i(j)$ выбирается только одно число из терм множеств в него входящих a или b , или c , или d (для трапецидальной формы), а потом производится их сравнение, при этом пустое множество остаётся в неизменном виде;

2) выбирается любое число в границах полного интервала функции: для треугольной формы $[a;]$ или $[a; c]$; для трапецидальной формы $[a;]$; для пустого множества соблюдается условие нулевой принадлежности $\mu_{A_i} = 0$, при котором может быть только одно чёткое число $A_i(j) = \emptyset = A_a^{i(j)}$.

3) суммируются начальные и конечные точки перехода для каждого нечёткого числа следующих форм:

треугольной

$$A_i = A + A$$

или

$$A_i = A + A_c^{i(j)};$$

трапецидальной

$$A_i(j) = A_a^{i(j)} + A_d;$$

пустого множества

$$A_i(j) = \emptyset = A_a^{i(j)} + A_a^{i(j)}.$$

Операция сравнения нечётких множеств с пустыми множествами тоже требует научной проработки математического аппарата. Операции сравнения объектов только в форме пустых мно-

жеств в матрицах иерархии не описаны, т.к. эти операции являются обычным представлением МАИ Т. Саати и которые ничего общего с описанными операциями сравнения объектов в форме нечётких и нечётких совместно с пустыми множествами не имеют.

На практике может получиться так, что матрицу образуют объекты четвёртого уровня иерархии, привязанные и не привязанные к чётким (пустым множествам) и нечётким измерителям и измерениям. В этом случае рекомендуется реализовать следующие действия.

1. До начала исследования дополнить ПСД расчётными данными для измерения объектов.

2. Если первый пункт нет возможности реализовать, то тогда следует представить все объекты, входящие в одну матрицу в форме вербально-числовых терм множеств согласно шкале Т. Саати (табл. 1). При этом эксперту следует ориентироваться только на свой опыт и интуицию. В данном случае транзитивную логику будет практически невозможно соблюдать, при этом у каждого эксперта она будет своя, отличающаяся от общепринятой в МАИ. И в том и другом случае показатель отношения согласованности утрачивает какой-либо смысл, как это уже было доказано ранее [20].

Второй пункт рекомендуется использовать не более чем в 10% матриц от общего числа матриц в иерархии, скорее как вынужденное исключение. В противном случае адекватность и состоятельность

Таблица 1
Шкала субъективных суждений экспертов для разработки согласованных управленческих решений выбора эффективных проектов в МАИ

Степени важности, баллы	Определения	Объяснения
1	Одинаковая значимость	Два действия вносят одинаковый вклад в достижение цели
3	Некоторое преобладание значимости одного действия над другим (слабая значимость)	Опыт и суждение дают лёгкое предпочтение одному действию перед другим
5	Существенная или сильная значимость	Опыт и суждение дают сильное предпочтение одному действию перед другим
7	Очень сильная или очевидная значимость	Предпочтение одного действия перед другим очень сильно. Его превосходство практически явно
9	Абсолютная значимость	Свидетельство в пользу абсолютного предпочтения одного действия другому
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения между соседними значениями шкалы	Ситуация, когда необходимо компромиссное решение
Обратные величины приведённых выше чисел	Если действию i при сравнении с действием j приписывается одно из приведённых выше чисел, то действию j при сравнении с i приписывается обратное значение	Обоснованное предположение
Рациональные значения	Отношения, возникающие в заданной шкале	Если постулировать согласованность, то для получения матрицы требуется n числовых значений

исследования будет под вопросом. Именно по этой и другим причинам второй пункт требует дальнейшего научного исследования.

Для всех описанных случаев сравнения объектов матрицы $A_i(j)$ в чётких и нечётких измерениях главное помнить, что при реализации процедуры попарного оценивания должно соблюдаться требование транзитивной логики. Это требование является обязательным для исполнения, чтобы получить эталонные значения показателя $OS \leq 0,1$ только в отдельных матрицах экспертов. Матрицы, в которых уже учтены агрегированные оценки a_{ij}^{ag} – это требование не учитывается в виду его полной несостоятельности [19, 20]. Для того, чтобы было проще понять транзитивную логику нечётких элементов матрицы приведём пример. На рис. 2 представлены объекты матрицы $A_i(j) = NPV_i(j)$ в разных формах нечётких множеств и одного пустого множества, один из сложных случаев парного сравнения в матрице МАИ.

Формализуем примерные данные из рис. 2 следующим образом, млн руб.:

1) первое нечёткое число трапецидальной формы

$NPV1(1) = \{NPV_{10}^{1(1)}; NPV_{20}^{1(1)}; NPV_{35}^{1(1)}; NPV_{45}^{1(1)}\}$, в раскрытом виде $NPV1(1) = \{10; 20; 35; 45\}$;

2) второе пустое множество

$NPV2(2) = \emptyset = NPV_{27,5}^{2(2)}$, в раскрытом виде $NPV2(2) = 27,5$;

3) третье нечёткое число треугольной формы $NPV3(3) = \{NPV_{40}^{3(3)}; NPV_{54}^{3(3)}\}$, в раскрытом виде

$NPV3(3) = \{40; 54\}$;

4) четвертое нечёткое число треугольной формы $NPV4(4) = \{NPV_{51}^{4(4)}; NPV_{58,5}^{4(4)}; NPV_{66}^{4(4)}\}$, в раскрытом виде $NPV4(4) = \{51; 58,5; 66\}$.

После графического и аналитического представления нечётких данных примера можно переходить к объяснению сути работы транзитивной логики для случая, в котором $A_i(j)$ представлены и в треугольной, и в трапецидальной, и в пустой форме по трём действиям в табл. 2.

Таким образом, в приведённом примере:

1) если эксперт выберет первое действие, то в его распоряжении будет 24 варианта транзитивных цепей для выставления оценок a_{ij}^n в матрице четвёртого уровня иерархии;

2) если эксперт выберет второе действие, то в его распоряжении будет множество вариантов транзитивных цепей для выставления оценок a_{ij}^n в матрице четвёртого уровня иерархии;

3) если эксперт выберет третье действие, то в его распоряжении будет единственная транзитивная цепь, которая среди других указанных позволяет конвертировать нечёткие числа в чёткие (пустые множества).

Именно третье действие следует выбрать эксперту в том случае, если нет достаточной определённости (уверенности) в суждениях по поводу оцениваемых объектов в матрице, или нет доверия к измерениям объектов в матрице. Первое и второе действие позволят эксперту при реализации процедуры попарного оценивания в матрице детерминировать свои суждения.

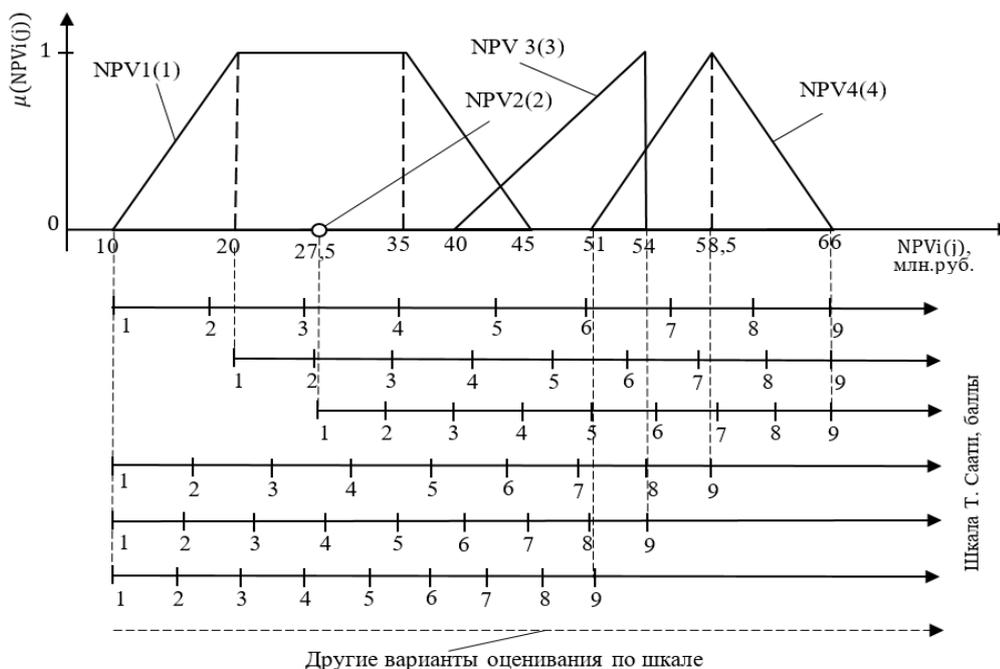


Рис. 2. Пример графического представления разных форм нечётких множеств и пустого множества для определения матричных оценок a_{ij}^n по критерию чистого дисконтированного дохода проектов (NPV, млн руб.) четвёртого уровня иерархии (см. рис. 1)

Таблица 2

Варианты транзитивных логических цепей в форме неравенств для примера, млн руб.

Действие первое. Для каждого нечёткого числа $NPVi(j)$ выбирается только одно число из терм множеств в него входящих а или b, или с, или d (для трапецеидальной формы), а потом производится их сравнение, при этом пустое множество остаётся в неизменном виде	$NPV_{66}^{4(4)} > NPV_{54}^{3(3)} > NPV_{27,5}^{2(2)} > NPV_{10}^{1(1)}$	$NPV_{51}^{4(4)} > NPV_{40}^{3(3)} > NPV_{27,5}^{2(2)} > NPV_{10}^{1(1)}$
	$NPV_{66}^{4(4)} > NPV_{54}^{3(3)} > NPV_{27,5}^{2(2)} > NPV_{10}^{1(1)}$	$NPV_{51}^{4(4)} > NPV_{40}^{3(3)} > NPV_{27,5}^{2(2)} > NPV_{10}^{1(1)}$
	$NPV_{66}^{4(4)} > NPV_{54}^{3(3)} > NPV_{35}^{1(1)} > NPV_{27,5}^{2(2)}$	$NPV_{51}^{4(4)} > NPV_{40}^{3(3)} > NPV_{35}^{1(1)} > NPV_{27,5}^{2(2)}$
	$NPV_{66}^{4(4)} > NPV_{54}^{3(3)} > NPV_{45}^{1(1)} > NPV_{27,5}^{2(2)}$	$NPV_{51}^{4(4)} > NPV_{45}^{1(1)} > NPV_{40}^{3(3)} > NPV_{27,5}^{2(2)}$
	$NPV_{58,5}^{4(4)} > NPV_{54}^{3(3)} > NPV_{27,5}^{2(2)} > NPV_{10}^{1(1)}$	$NPV_{54}^{3(3)} > NPV_{51}^{4(4)} > NPV_{27,5}^{2(2)} > NPV_{10}^{1(1)}$
	$NPV_{58,5}^{4(4)} > NPV_{54}^{3(3)} > NPV_{27,5}^{2(2)} > NPV_{20}^{1(1)}$	$NPV_{54}^{3(3)} > NPV_{51}^{4(4)} > NPV_{27,5}^{2(2)} > NPV_{20}^{1(1)}$
	$NPV_{58,5}^{4(4)} > NPV_{54}^{3(3)} > NPV_{35}^{1(1)} > NPV_{27,5}^{2(2)}$	$NPV_{54}^{3(3)} > NPV_{51}^{4(4)} > NPV_{35}^{1(1)} > NPV_{27,5}^{2(2)}$
	$NPV_{58,5}^{4(4)} > NPV_{54}^{3(3)} > NPV_{45}^{1(1)} > NPV_{27,5}^{2(2)}$	$NPV_{54}^{3(3)} > NPV_{51}^{4(4)} > NPV_{45}^{1(1)} > NPV_{27,5}^{2(2)}$
	$NPV_{66}^{4(4)} > NPV_{40}^{3(3)} > NPV_{27,5}^{2(2)} > NPV_{10}^{1(1)}$	$NPV_{58,5}^{4(4)} > NPV_{40}^{3(3)} > NPV_{27,5}^{2(2)} > NPV_{10}^{1(1)}$
	$NPV_{66}^{4(4)} > NPV_{40}^{3(3)} > NPV_{27,5}^{2(2)} > NPV_{20}^{1(1)}$	$NPV_{58,5}^{4(4)} > NPV_{40}^{3(3)} > NPV_{27,5}^{2(2)} > NPV_{20}^{1(1)}$
	$NPV_{66}^{4(4)} > NPV_{40}^{3(3)} > NPV_{35}^{1(1)} > NPV_{27,5}^{2(2)}$	$NPV_{58,5}^{4(4)} > NPV_{40}^{3(3)} > NPV_{35}^{1(1)} > NPV_{27,5}^{2(2)}$
	$NPV_{66}^{4(4)} > NPV_{45}^{1(1)} > NPV_{35}^{3(3)} > NPV_{27,5}^{2(2)}$	$NPV_{58,5}^{4(4)} > NPV_{45}^{1(1)} > NPV_{35}^{3(3)} > NPV_{27,5}^{2(2)}$

Действие второе. Выбирается любое число в границах полного интервала функции: для треугольной формы [a; b] или [a; c]; для трапецеидальной формы [a; d]; для пустого множества соблюдается условие нулевой принадлежности $\mu_{NPVi(j)}(x) = 0$, при котором может быть только одно чёткое число $NPVi(j) = \emptyset = NPV_a^{i(i)}$. Множество вариантов в рамках границ полного интервала функции. **Останется неизменным отношения только трёх нечётких чисел в трёх случаях:**
 $NPV4(4) > NPV1(1); NPV3(3) > NPV2(2); NPV4(4) > NPV2(2)$.

Разница этих нечётких чисел является очевидной, судя по графическому их представлению (см. рис. 2). Указанные неравенства применимы к транзитивным цепям, полученным при реализации действия первого

Действие третье. Суммируются начальные и конечные точки перехода для каждого нечёткого числа следующих форм: треугольной $NPVi(j) = NPV_a^{i(i)} + NPV_b^{i(i)}$ и $NPVi(j) = NPV_a^{i(i)} + NPV_c^{i(i)}$; трапецеидальной $NPVi(j) = NPV_a^{i(i)} + NPV_d^{i(i)}$; $NPVi(j) = \emptyset = NPV_a^{i(i)} + NPV_a^{i(i)}$. Выполним эти простые вычисления: $NPV1(1) = 10 + 45 = 55$; $NPV2(2) = 27,5 + 27,5 = 55$; $NPV3(3) = 40 + 54 = 94$; $NPV4(4) = 51 + 66 = 117$. В результате получим единственное неравенство:

$$NPV4(4) > NPV3(3) > NPV2(2) = NPV1(1),$$

$$117 > 94 > 55 = 55$$

Отдельно следует отметить шкалу оценивания Т. Саати, изображённую в нижней части рис. 2. Эта шкала, проведённая параллельно оси $NPVi(j)$, в шести возможных вариантах для данного примера является вспомогательным средством для эксперта при реализации процедуры попарного оценивания в матрице иерархии. Шкала позволит наиболее эффективно и безошибочно сформировать транзитивную цепь для получения эталонных показателей $OC \leq 0,1$ в матрице каждого эксперта. Именно поэтому необходимо всех экспертов обеспечить такими графиками по типу рис. 2. Шкала Т. Саати имеет некоторые ограничения, с которыми могут столкнуться эксперты в процессе работы. Можно выделить следующие ограничения:

1) если объектов, обладающих разными параметрами измерения, в матрице оценивания будет более девяти, то нарушение транзитивной логики неизбежно. Причём чем больше таких объектов сверх девяти, тем больше будет таких нарушений;

2) если 2, 3, 4 и более объектов будут обладать близкими или примерно равными измерениями по отношению друг к другу, то будет неточность парного сравнения по 9-балльной шкале

оценивания с шагом в один балл. Как следствие эта неточность будет влиять на точность определения значений векторов приоритетов (см. формулы (2) и (3), (6) и (7) [20]).

Например, представим следующие измерения объектов в матрице: 10; 10,4; 12; 31; 32; 37. Где объекты «10» и «10,4» примерно равны, а в группе элементов (10; 10,4; 12) и (31; 32) нет существенных отличий. Далее группа объектов (10; 10,4; 12) существенно отличаются от группы объектов (31; 32; 37). Представленные ограничения можно преодолеть путём уточнения шага шкалы Т. Саати до десятых или даже до сотых. Например, один шаг шкалы можно представить в виде интервалов Е. Харрингтона: очень высокая оценка 0,8–1; высокая оценка 0,64–0,79; средняя оценка 0,37–0,63; низкая оценка 0,2–0,36; очень низкая оценка 0–0,19. Также можно предложить специальную формулу, которая позволит до десятых или сотых парно оценить объекты в матрице. Материалы по преодолению указанных ограничений шкалы Т. Саати будут раскрыты в других статьях автора.

При реализации методики через синтез МАИ и нечётких множеств полученные агрегированные

матричные оценки a_{ij}^{ag} следует проверять на согласованность при помощи критериев математической статистики для выполнения второго фундаментального положения из методики. В ранее опубликованной статье [20] автор представил лишь только критерий Пирсона и Колмогорова-Смирнова для оценки согласованности матричных оценок a_{ij}^{ag} . Критерии (коэффициенты) Джини и Кендэла будут интегрированы в методику в этой статье. В ближайшее время автор готовит материал для публикации, где будут раскрыты критерии типа Крамера-Мизеса-Смирнова, Андерсона-Дарлинга, Ватсона, Купера, Романовского, Ястремского и многие другие, образующие новую научную категорию «Супермаркет статистики» для методики и МАИ.

Аналитическое выражение индивидуальных экспертных оценок a_{ij}^n , полученных при помощи попарного сравнения матричных объектов $A_j(i)$ в форме нечётких и чётких совместно с пустыми множествами для определения их агрегированных значений a_{ij}^{ag} в границах полной 17-балльной шкалы Т. Саати можно представить следующим образом:

$$a_{ij}^n \begin{cases} A_i(j) > A_j(i) \Leftrightarrow a_{ij}^n \in [2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9] \\ \vee \\ A_i(j) < A_j(i) \Leftrightarrow \\ 1/a_{ij}^n \in [1/2; 1/3; 1/4; 1/5; 1/6; 1/7; 1/8; 1/9] \\ \vee \\ A_i(j)(x) \cong A_j(i) \Leftrightarrow a_{ij}^n \in 1, \\ a_{ij}^{ag} = \frac{\sum_{n=1}^m a_{ij}^n v_n}{\sum_{n=1}^m v_n}, \end{cases} \quad (6)$$

где \vee – математическая операция дизъюнкции (лингвистический эквивалент «или»), необходимая для осуществления экспертом выбора одного из указанных условий, соответствующего по его мнению истине в результате реализации процедуры попарного сравнения матричных объектов в форме разных нечётких (см. формулы (3)–(5)) и чётких (пустых) множеств; \Leftrightarrow – в математической логике этот символ используется для обозначения свойства эквивалентности между показателями или операциями, в данном случае неравенства нечётких объектов матрицы определяют экспертную матричную оценку a_{ij}^n по полной 17-балльной шкале Т. Саати; a_{ij}^n – матричная оценка одного эксперта, принадлежащая i -й строке и j -му столбцу матрицы парных сравнений, баллы; a_{ij}^{ag} – агрегированная матричная оценка, принадлежащая i -й строке и j -му столбцу матрицы парных сравнений, баллы; v_n – весовая оценка эксперта, баллы; m – количество множителей; n – порядковый номер эксперта; $\sum_{n=1}^m v_n$ – сумма всех весовых оценок экспертов (веса экспертов могут быть 1, 2 или 3 [20]), баллы.

Только после определения всех индивидуальных матричных оценок экспертов a_{ij}^n по формуле

(6), осуществляется вычисление их агрегированных значений a_{ij}^{ag} по формуле (7). Важно сделать напоминание о том, что все индивидуальные оценки экспертов a_{ij}^n в рамках матрицы парных сравнений должны соответствовать заданному эталону Т. Саати $OC \leq 0,1$. Такое соответствие эталону возможно при помощи выбора одного из множества вариантов транзитивных логических цепей для реализации процедуры попарного сравнения и оценивания объектов в матрице. Как это, например, сделано в табл. 2 на основании рис. 2.

Для проверки согласованности оценок a_{ij}^n , образующих числовой ряд в числителе $\sum_{n=1}^m a_{ij}^n v_n$ формулы (7), можно использовать критерий Джини и Кендэла для дальнейшего принятия или отклонения a_{ij}^{ag} . Следует сделать примечание. Значение a_{ij}^n принимается в количестве равном весовой категории эксперта. Например, присвоена весовая категория матричной оценки первого эксперта ($a_{ij}^1 = 5$ баллов) в размере три ($v = 3$), тогда правильная запись этой матричной оценки в числовом ряду будет выглядеть следующим образом: $a_{ij}^1 \Leftrightarrow \{a_{ij}^{1.1}; a_{ij}^{1.2}; a_{ij}^{1.3}\}$; $a_{ij}^1 \Leftrightarrow \{5; 5; 5\}$. Если упростить восприятие, то матричная оценка a_{ij}^1 из примера должна приниматься в форме трёх одинаковых оценок вместо одной для полного представления числового ряда. Таким образом, размер выборки для математической статистики следует определять путём суммирования всех весовых категорий, принадлежащих экспертам в группе: $n = \sum_{i=1}^m v_{ni}$.

Обычно в науке выделяют такие труды К. Джини, как «Средние величины» [4] и «Логика в статистике» [5]. Существуют различные модификации расчета коэффициента Джини (G), которые строятся на основе кривой Лоренца, характеризующей накопление значения изучаемого признака в зависимости от накопления элементов совокупности [37, 27]. Для методике будет удобнее использовать формулу, приведенную Г.Л. Громыко [3] с некоторыми авторскими дополнениями:

$$G = |\sum_{i=1}^{m-1} p_i q_{i+1} - \sum_{i=1}^{m-1} p_{i+1} q_i|, \quad (8)$$

где p_i – кумулятивная доля количества (n) равномерно распределённых матричных оценок экспертов a_{ij}^n по i -м разрядам признака с учётом весовых категорий v , доли единиц; q_i – кумулятивная доля количества (n) эмпирически полученных матричных оценок экспертов a_{ij}^n , принадлежащих i -ым разрядам признака с учётом весовых категорий v , доли единиц; m – количество разрядов признака в форме полной 17-балльной или модифицированной 9- и 7-балльной шкалы Т. Саати [20].

Суть исследования согласованности при помощи коэффициента Джини заключается в сравнении количества равномерно распределённых (теоретических) с количеством выставленных (эмпирических) матричных оценок экспертов из мно-

жества n , через вычисления показателей p_i и q_i по разрядам признака в форме полной или модифицированной шкалы Т. Саати. При этом $p_i = n/m$, а $q_i = \sum p_i \in a_{ij}^n$. В качестве замечания следует отметить, что если в каком-либо разряде признака отсутствуют оценки экспертов, то этот разряд следует исключить из расчёта. Тогда в расчёт принимается $m < 17$ или $m < 9$, или $m < 7$.

Дальнейшие вычисления по формуле (8) позволяют получить коэффициент Джини, который следует трактовать следующим образом: стремится к «1» высокий уровень согласованности; стремится к «0» низкий уровень согласованности. Для более точного определения уровня согласованности этим математическим методом для МАИ и методики рекомендуется использовать вербально-числовую шкалу математика Е. Харрингтона: очень высокая оценка 0,8–1; высокая оценка 0,64–0,79; средняя оценка 0,37–0,63; низкая оценка 0,2–0,36; очень низкая оценка 0–0,19.

При необходимости кроме указанной формулы (8) в МАИ могут быть интегрированы другие альтернативные формулы вычисления коэффициента Джини.

Следующий возможный вариант оценки согласованности экспертных суждений в методике – это коэффициент конкордации Кендэла. Наиболее известные в науке фундаментальные труды М.Дж. Кендэла это «Теория распределений» [11], «Статистические выводы и связи» [10] и «Многомерный статистический анализ и временные ряды» [9]. Формула расчёта коэффициента конкордации (\mathcal{K}) [10] с учётом некоторых изменений для методики будет выглядеть следующим образом:

$$\mathcal{K} = \frac{12 \times S}{n^2(m^3 - m)}, \quad (9)$$

где S – сумма квадратов отклонения сумм рангов матричных оценок a_{ij}^n , выставленных экспертами по шкале Т. Саати с учётом весовых категорий v , от средней суммы рангов в границах матрицы МАИ, баллы; n – число экспертов с учётом их весовых категорий v , человек; m – число оцениваемых элементов-объектов в матрице иерархии $A_i(j)$.

Значение S можно вычислить по следующей известной формуле:

$$S = \sum_{i=1}^m (\sum_{j=1}^n X_{ij} - \bar{X})^2, \quad (10)$$

где X_{ij} – ранг (матричная оценка a_{ij}^n), выставленный i -му элементу-объекту ($A_i(j)$) из матрицы иерархии каждым j -м (n -м) экспертом с учётом его весовой категории v , баллы; \bar{X} – среднеарифметическая сумма рангов (матричных оценок a_{ij}^n) с учётом весовых категорий экспертов v , баллы.

В свою очередь среднеарифметическая сумма рангов определяется как: $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij}}{m}$, баллы.

Коэффициент конкордации отличается от критерия Пирсона, Колмогорова-Смирнова и Джини для методики и МАИ тем, что позволяет

оценить согласованность не каждой отдельно взятой матричной оценки, а все матричные оценки в рамках одной матрицы, выставленных экспертами. Получается своего рода модифицированный аналог показателю ОС из МАИ.

Следует также отметить, что для более глубокого исследования согласованности экспертных суждений можно использовать усложнённую формулу Кендэла с учётом коэффициента Спирмена при наличии связанных рангов. Обычно, если коэффициент конкордации стремится к «1», то и оценки экспертов стремятся к согласию, а если к «0», то наоборот имеет место быть явление рассогласования.

Для того, чтобы измерить уровень согласованности по полученному коэффициенту конкордации предлагается использовать вербально-числовую шкалу математика Е. Харрингтона. Однако если n и m принимают значение более трёх, то коэффициент конкордации можно статистически подтвердить при помощи сравнения эмпирически полученного показателя S с его табличным значением. Если эмпирическое значение больше табличного, то следует считать, что мнения экспертов согласованы с определённой степенью статистической значимости. Нередки случаи, когда m больше семи и связи между рангами отсутствуют, тогда статистическую значимость коэффициента Кендэла можно проверить при помощи критерия χ_{emp}^2 . Полученный результат также сравнивается с табличным значением и устанавливается уровень согласованности. Ещё один способ проверки статистической значимости коэффициента конкордации посредством аппроксимации, основанной на использовании z -распределения Фишера. Существуют и другие математические дополнения для оценки статистической значимости коэффициента конкордации, которые тоже можно интегрировать в МАИ и методику выбора эффективных проектов.

В результате реализации методики разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов можно сформировать управленческие решения четырёх порядков.

Управленческие решения **первого порядка (MD1 – Management Decision 1)** содержат все элементы (A_i) четвёртого уровня иерархии в форме их суммы агрегированных результирующих векторов приоритетов ($W_{A_i}^{ag}$) по каждому проекту отдельно (см. формулу (7), часть 1 [20]):

$$\begin{aligned} MD1_{A_{iL4}} = & \sum_{i=1}^{A_i} W_{A_{iL4}}^{ag} = W_{ICi}^{ag} + W_{NPVi}^{ag} + W_{DPIi}^{ag} + \\ & + W_{DROIi}^{ag} + W_{DPPi}^{ag} + W_{IRRI}^{ag} + W_{MIRRI}^{ag} + W_{CEI}^{ag} + \\ & + W_{TDEi}^{ag} + W_{CPIi}^{ag} + W_{QEPi}^{ag} + W_{AWEI}^{ag} + W_{NPIi}^{ag} + \\ & + W_{NDPI}^{ag} + W_{TTPi}^{ag} + W_{CCPi}^{ag} + \\ & + W_{CDRI}^{ag} + \dots + W_{A_{iL4}}^{ag}, \quad (11) \end{aligned}$$

где i – в данном случае это порядковый номер проекта через который осуществляется привязка

принадлежащих ему объектов A_i на четвёртом уровне иерархии A_{iL4} .

MD1 являются универсальными решениями для выбора эффективных проектов в методике. Рекомендуется для практического использования.

Управленческие решения **второго порядка (MD2 – Management Decision 2)** содержат все элементы четвёртого уровня из конкретной ветки иерархии в форме их суммы агрегированных результирующих векторов приоритетов по каждому проекту отдельно. Например, ветка «Инвестиционная эффективность»:

$$MD2_{AiL4} = W_{ICI}^{ag} + W_{NPVi}^{ag} + W_{DPIi}^{ag} + W_{DROIi}^{ag} + W_{DPPi}^{ag} + W_{IRRI}^{ag} + W_{MIRRI}^{ag} + \dots + W_{AiL4}^{ag}. \quad (12)$$

MD2 являются уточнёнными решениями по группам критериев выбора эффективных проектов в методике: инвестиционная эффективность; экологическая эффективность; степень доверия к ПСД; социальная эффективность. Рекомендуется использовать тогда, когда: в процессе или после проведения исследования появляется требование выбора эффективного проекта по конкретной группе критерия; заказчики исследования и другие заинтересованные стороны преследуют разные противоречивые интересы выбора эффективных проектов.

Управленческие решения **третьего порядка (MD3 – Management Decision 3)** содержат любые выбранные элементы четвёртого уровня из разных веток иерархии в форме их суммы агрегированных результирующих векторов приоритетов по каждому проекту отдельно. Например:

$$MD3_{AiL4} = W_{ICI}^{ag} + W_{NPVi}^{ag} + W_{DPPi}^{ag} + W_{TTPi}^{ag} + W_{CDRIi}^{ag} + \dots + W_{AiL4}^{ag}. \quad (13)$$

MD3 являются комплексными решениями в форме набора разных элементов третьего и четвёртого уровня иерархии в методике. Рекомендуется использовать тогда, когда: заказчики исследования и другие заинтересованные стороны преследуют разные противоречивые интересы выбора эффективных проектов.

Управленческие решения **четвёртого порядка (MD4 – Management Decision 4)** содержат только один элемент четвёртого уровня иерархии из множества A_i . Применяется тогда, когда заказчики исследования предпочитают выбрать эффективный проект только по одному критерию-показателю в форме результирующего вектора приоритета из третьего уровня иерархии. Например:

$$MD4_{AiL4} = W_{NPVi}^{ag}. \quad (14)$$

MD4 являются конкретизированными решениями в форме одного выбранного критерия-показателя, принадлежащего третьему уровню иерархии. Рекомендуется использовать тогда, когда появляются какие-либо форс-мажорные обстоятельства, которые заставляют заказчиков исследования и других заинтересованных сторон

выбрать эффективный проект только по одному критерию-показателю в обязательном порядке.

В методике выбирается только один общий для всех порядок определения управленческих решений выбора эффективных проектов MD1 или MD2, или MD3, или MD4. Возможно использование комбинации управленческих решений. Однако этот аспект методики требует дальнейшей научно-практической проработки. Не важно какого порядка будут управленческие решения, признаётся эффективным тот проект, который получит наибольшую оценку по показателю MD.

Также требуется проработка процедуры формирования управленческих решений выбора эффективного проекта 2, 3 и 4 порядка, исключающих или смягчающих конфликт интересов заказчиков исследования и других заинтересованных сторон, зависящих и не зависящих от разных форс-мажорных обстоятельств. Автор статьи уделит внимание данной вскрытой проблеме в статье разработки единых требований по формированию рабочей группы экспертов для повышения качества и эффективности использования предлагаемой методики.

Заключение

Уже на протяжении тридцати лет (с 1988 г.) проводится «Международный симпозиум по процессу аналитической иерархии», посвящённый практическим и теоретическим исследованиям развития МАИ в разных областях науки. Результаты ежегодной работы симпозиума и результаты многих других исследований в области МАИ публикуются в специализированных международных журналах: «Annals of Management Science», «Journal of Multi-Criteria Decision Analysis», «International Journal of the Analytic Hierarchy Process», «Journal of Systems Science and Systems Engineering» и др.

Последние 10-15 лет активно развивается научная дискуссия вокруг решения проблемы синтеза МАИ с другими современными и прогрессивными методами из разных областей научного знания, где методам теории нечётких множеств уделяется особое внимание. К сожалению, представители отечественной науки и их труды по решению разных проблем и модернизации МАИ не интегрированы в этот глобальный международный процесс, набравший большие обороты развития и масштабы распространения по разным странам мира. Автор статьи искренне полагает, что только совместными усилиями представителями отечественной и зарубежной научной мысли можно осуществить не только эволюционное, но и революционное развитие МАИ. Это совместное действие повысит степень универсальности и расширит научные горизонты МАИ в теории и практики разных областей человеческой деятельности.

В статье раскрыто второе фундаментальное положение методики, обладающее научной новиз-

ной для финансовой и математической науки: синтез МАИ с методами теории нечётких множеств и методами математической статистики. Это положение, так же, как и первое позволяет существенно расширить, исправить ошибки, преодолеть ограничения и, наконец, модернизировать научное знание современных отечественных и зарубежных научных трудов в области разработки и согласования управленческих решений проблемы выбора эффективных проектов на основании:

1) синтеза МАИ с методами теории нечётких множеств и методами математической статистики;

2) использования не только однотипных, но и разных форм нечётких множеств для представления элементов иерархии в рамках матриц парных сравнений;

3) включения в процедуру парного оценивания элементов иерархии в форме пустых множеств совместно с другими формами нечётких множеств;

4) содержания новых обозначений элементов, новых операций парного сравнения (оценивания) элементов в разных формах нечётких и пустых множеств в границах матриц иерархии;

5) возможности оценки уровня согласованности экспертных суждений в разных формах нечётких и пустых множеств, выраженных в конечном счёте в агрегированных матричных оценках при помощи критериев математической статистики;

6) возможности замены или дополнения показателя отношения согласованности нечётких оценок в матрице парных сравнений критериями математической статистики;

7) использования расширенной и уточнённой шкалы экспертных суждений Т. Саати;

8) применения новых принципов формирования нечёткого множества вариантов транзитивных цепей.

Уделено внимание ещё нескольким особенностям, которые объединили оба положения:

1) наличие в методике возможности разработки и принятия сбалансированных управленческих решений четырёх порядков;

2) определён потенциал дальнейшего развития методики и МАИ с учётом изложенных и других отличительных особенностей.

Первое фундаментальное положение методики (синтез МАИ с методами математической статистики) было раскрыто в другой публикации автора.

Важно подчеркнуть, что оба фундаментальных положения отличаются высокой степенью универсальности, тем самым модернизируют сам МАИ и могут применяться для решения многокритериальных задач в разных областях науки и практики.

Кроме того, в будущих статьях автор планирует обогатить не только предложенную методику, но и осуществить прирост научного знания в области МАИ за счёт: дополнительной интеграции в методику и МАИ статистических критериев Кра-

мера-Мизеса-Смирнова, Андерсона-Дарлингга, Ватсона, Купера, Романовского, Ястремского, и других, образующих новую научную категорию «Супермаркет статистики» для оценки согласованности отдельных экспертных и агрегированных матричных оценок в качестве дополнительных альтернатив; использования элементов в матрице парных сравнений, у которых отсутствуют какие-либо измерения с элементами разных форм нечётких и пустых множеств, которые привязаны к измерителям и измерениям; новых решений по модернизации традиционной шкалы оценивания Т. Саати для повышения степени универсальности применения МАИ в разных областях науки; поиска универсальных решений для повышения объективности процедуры попарного оценивания элементов в матрице, обладающих свойством безразличия к каким-либо измерениям и измерителям; повышения степени универсальности через процедуру конвертирования нечётких чисел разных форм в чёткие (пустые множества); интеграции в методику методов нейронных сетей; разработки единых требований по формированию рабочей группы экспертов для повышения качества и эффективности использования предлагаемой методики; разработки единого алгоритма реализации методики и стандартных организационных процедур; других научно-практических аспектов.

Также за пределами данной статьи остались результаты апробации методики, которые тоже будут представлены в следующих публикациях автора.

Литература

1. Аньшин, В.М. Применение теории нечётких множеств к задаче формирования портфеля проектов / В.М. Аньшин, И.В. Демкин, И.Н. Царьков, И.М. Никонов // Проблемы анализа риска. – 2008. – Т. 5. – № 3. – С. 8–21.

2. Бородин, А.И. Оценка инвестиционной привлекательности инновационных проектов на основе нечеткой логики / А.И. Бородин, Е.Д. Стрельцова, Е.В. Катков // Прикладная информатика. – 2013. – № 4 (46). – С. 19–25.

3. Громыко, Г.Л. Об использовании коэффициента Джини в экономико-статистических исследованиях / Г.Л. Громыко, И.Н. Матюхина // Вопросы статистики. – 2015. – № 9. – С. 56–66. DOI: 10.34023/2313-6383-2015-0-9-56-66

4. Джини, К. Средние величины / пер. с итал. П.А. Лисовского и Ю.П. Лисовского; науч. ред. и вступ. статья Г.Г. Пирогова и С.Д. Горшенина. – М.: Статистика, 1970. – 447 с.

5. Джини, К. Логика в статистике / пер. с итал. Л.С. Кучаева. – М.: Статистика, 1973. – 125 с.

6. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / пер. с англ. Н.И. Ринго; под ред.

Н.Н. Моисеева и С.А. Орловского. – М.: Мир, 1976. – 165 с.

7. Заде, Л.А. Теория линейных систем. Метод пространства состояний / А. Лофт, Ч.А. Дезоер; пер. с англ. В. Н. Варыгина [и др.]; под ред. Г.С. Поспелова. – М.: Наука, 1970. – 703 с.

8. Зайцев, К.Д. Реализация инвестиционного проекта в рамках энергоэффективной стратегии энергетического предприятия / К.Д. Зайцев // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. – 2015. – № 5. – С. 48–52.

9. Кендэл, М.Дж. Многомерный статистический анализ и временные ряды / М. Кендалл, А. Стьюарт; пер. с англ. Э.Л. Пресмана, В.И. Ротаря; под ред. А.Н. Колмогорова, Ю.В. Прохорова. – М.: Наука, 1976. – 736 с.

10. Кендэл, М.Дж. Статистические выводы и связи / М.Д. Кендэл, А. Стьюарт; пер. с англ. Л.И. Гальчука, А.Т. Терехина; под ред. А.Н. Колмогорова. – М.: Наука, 1973. – 899 с.

11. Кендэл, М.Дж. Теория распределений / М.Дж. Кендалл, А. Стьюарт; пер. с англ. В.В. Сазонова, А.Н. Ширяева; под ред. А.Н. Колмогорова. – М.: Наука, 1966. – 587 с.

12. Кравченко, Т.К. Аналитическое обоснование выбора объекта венчурных инвестиций / Т.К. Кравченко // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2015. – № 41 (275). – С. 35–46.

13. Куликов, Д.Л. Многокритериальный выбор инвестиционной площадки методом анализа иерархий / Д.Л. Куликов, В.А. Лыкова // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 7. – С. 151–155.

14. Курчик, А.М. Многокритериальный выбор проектов в минерально-сырьевом комплексе с помощью метода анализа иерархий / А.М. Курчик // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2012. – № 3. – С. 73–78.

15. Лихошерст, Е.Н. Выбор оптимального портфеля проектов строительной компании с учётом запросов стейкхолдеров в нечётко-множественной постановке / Е.Н. Лихошерст, Л.С. Мазелис, А.Я. Чен // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. – 2015. – № 4. – С. 27–40.

16. Путищева, Н.В. Разработка программной поддержки принятия решений для выбора инвестиционных проектов / Н.В. Путищева, С.В. Игрунова, Л.В. Мигальи др. // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия «Экономика. Информатика». – 2015. – № 1 (198). – С. 111–117.

17. Ремезова, Е.М. Согласование критериальных оценок при выборе инвестиционных проектов / Е.М. Ремезова, В.Г. Чернов // Динамика сложных систем – XXI век. – 2016. – Т. 10. – № 4. – С. 10–21.

18. Чванова, М.С. Выбор проекта и оценка его эффективности на основе нечетких запросов и метода экспертных оценок / М.С. Чванова, И.А. Киселева, А.А. Молчанов // Вестник Тамбовского университета. Серия «Гуманитарные науки». – 2013. – № 12 (128). – С. 138–150.

19. Шагеев, Д.А. Концептуальное представление методики разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов / Д.А. Шагеев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2019. – Т. 13, № 1. – С. 162–177. DOI: 10.14529/em190117

20. Шагеев, Д.А. Методика разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов. Часть 1 / Д.А. Шагеев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2019. – Т. 13, № 2. – С. 145–164. DOI: 10.14529/em190218

21. Anyaeche, C.O. A Fuzzy-Analytical Hierarchy Model for Solid Waste / C.O. Anyaeche, S.A. Adekola // Mathematical Theory and Modeling. – 2014. – V. 4, № 1. – P. 32–47.

22. Bellman, R.E. Decision-Making in a Fuzzy Environment / R.E. Bellman, L.A. Zadeh // Management Science. – 1970. – V. 7, iss. 4. – P. 141–164. DOI: 10.1287/mnsc.17.4.B141

23. Božanić, D. Modification of the analytic hierarchy process (AHP) method using fuzzy logic: fuzzy AHP approach as a support to the decision making process concerning engagement of the group for additional hindering / D. Božanić, D. Pamučar, D. Bojanić // Serbian Journal of Management. – 2015. – V. 10, № 2. – P. 151–171. DOI: 10.5937/sjm10-7223.

24. Çebi, A. An application of fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) for evaluating students' project / A. Çebi, H. Karal // Educational Research and Reviews. – 2017. – V. 12, iss. 3. – P. 120–132. DOI: 10.5897/ERR2016.3065.

25. Cheng, C.-H. A Consistent Fuzzy Preference Relations Based ANP Model for R&D Project Selection / C.-H. Cheng, J.J.H. Liou, Ch.-Y. Chiu // Sustainability. – 2017. – V. 9, iss. 8. – P. 1352. DOI: 10.3390/su9081352.

26. Cox, E. The fuzzy systems handbook: A practitioner's guide to building, using, a. maintaining fuzzy systems / E. Cox; [Forew. by L.A. Zadeh]. – 2. ed. – San Diego etc.: AP professional, Cop. 1999. – XLVIII, 716 p.

27. Djolov, G. A Note on the Estimation of the Gini Index / G. Djolov // The Journal of Applied Economic Research. – 2014. – V. 8, iss. 3. – P. 237–256.

28. Durmuşoğlu, Z.D.U. Assessment of technology entrepreneurship projects by using Analytical Hierarchy Process (AHP) / Z.D.U. Durmuşoğlu // Technology in Society. – 2018. – V. 54. – P. 41–46. DOI: 10.1016/j.techsoc.2018.02.001

29. Enea, M. Project Selection by Constrained Fuzzy AHP / M. Enea // Fuzzy Optimization and Deci-

sion Making. – 2004. – №3. – P. 39–62. DOI: 10.1023/B:FODM.0000013071.63614.3d

30. Fazlollahtabar, H. Designing a Fuzzy Expert System to Evaluate Alternatives in Fuzzy Analytic Hierarchy Process / H. Fazlollahtabar, H. Eslami, H. Salmani // *Journal Software Engineering & Applications*. – 2010. – №3. – P. 409–418. DOI: 10.4236/jsea.2010.34046.

31. Gaines, B.R. Fuzzy sets and decision analysis - a perspective / B.R. Gaines, H.J. Zimmerman, L.A. Zadeh // *Fuzzy sets and decision analysis, volume 20 of Studies in the Management Sciences*. – Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V. – 1984. – P. 3-8.

32. Garbuzova-Schlifter, M. AHP-based risk analysis of energy performance contracting projects in Russia / M. Garbuzova-Schlifter, R. Madlener // *Energy Policy*. – 2016. – V. 97. – P. 559–581. DOI: 10.1016/j.enpol.2016.07.024

33. Jafarzadeh, H. A methodology for project portfolio selection under criteria prioritisation, uncertainty and projects interdependency – combination of fuzzy QFD and DEA / H. Jafarzadeh, P. Akbari, B. Abedin // *Expert Systems with Applications*. – 2018. – V. 110. – P. 237–249. DOI: 10.1016/j.eswa.2018.05.028

34. Jing, L. A hybrid fuzzy stochastic analytical hierarchy process (FSAHP) approach for evaluating ballast water treatment technologies / L. Jing, B. Chen, B. Zhang, H. Peng // *Environmental Systems Research*. – 2013. – P. 2–10. DOI: 10.1186/2193-2697-2-10.

35. Khalili-Damghani, K. A decision support system for fuzzy multi-objective multi-period sustainable project selection / K. Khalili-Damghani, S. Sadi-Nezhad // *Computers & Industrial Engineering*. – 2013. – V. 64, iss. 4. – P. 1045–1060. DOI: 10.1016/j.cie.2013.01.016

36. Khalilzadeh, M. A multi-objective fuzzy project selection problem considering social responsibility and risk / M. Khalilzadeh, K. Salehi // *Procedia Computer Science*. – 2017. – V. 121. – P. 646–655. DOI: 10.1016/j.procs.2017.11.085

37. Langel, M. Variance estimation of the Gini index: revisiting a result several times published / M. Langel, Y. Tille // *Journal of the Royal Statistical Society*. – 2013. – V. 176, № 2. – P. 521–540. DOI: 10.1111/j.1467-985X.2012.01048.x

38. Li T. Refracted Well Selection for Multicriteria Group Decision Making by Integrating Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS Based on Interval-Typed Fuzzy Numbers / T. Li, J. Jin, Ch. Li // *Journal of Applied Mathematics*. – 2012. – V. 2012, Article ID 304287. – P. 21. DOI: 10.1155/2012/304287.

39. Mandal, S. Analytic hierarchy process (AHP) approach for selection of open cast coal mine project / S. Mandal // *International Journal of Industrial Engineering Research and Development*. – 2016. – V. 7, iss. 2. – P. 1–13, Article ID: IJIERD_07_02_001

40. Mahendran, P. A Fuzzy AHP Approach for Selection of Measuring Instrument for Engineering College Selection / P. Mahendran, M.B.K. Moorthy, S. Saravanan // *Applied Mathematical Sciences*. – 2014. – V. 8, №44. – P. 2149–2161. DOI: 10.12988/ams.2014.44232

41. Mahmoodzadeh, S. Project Selection by Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique / S. Mahmoodzadeh, J. Shahrabi, M. Pariazar, M.S. Zaeri // *Digital Open Science Index. International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*. – 2007. – V.1, № 6. – P. 270–275.

42. Moeini, H. Vendor Selection via Fuzzy Analytic Hierarchy Process: A Case Study / H. Moeini // *Int. Journal of Social Science and Management*. – 2014. – V. 1, iss. 1. – P. 61–69.

43. Nassif, L.N. Project Portfolio Selection in Public Administration Using Fuzzy Logic / L.N. Nassif, J.C.S. Filho, J.M. Nogueira // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. – 2013. – V. 74. – P. 41–50. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.03.036

44. Pérezza, F. Project portfolio selection and planning with fuzzy constraints / F. Pérezza, T. Gómez, R. Caballero, V. Liern // *Technological Forecasting and Social Change*. – 2018. – V. 131. – P. 117–129. DOI: 10.1016/j.techfore.2017.07.012

45. Peetawan, W. Identifying factors affecting the success of rail infrastructure development projects contributing to a logistics platform: A Thailand case study / W. Peetawan, K. Suthiwartmarueput // *Kasetsart Journal of Social Sciences*. – 2018. – V. 39, iss. 2. – P. 320–327. DOI: 10.1016/j.kjss.2018.05.002

46. Salehi, K. A hybrid fuzzy MCDM approach for project selection problem / K. Salehi // *Decision Science Letters*. – 2015. – № 4. – P. 109–116. DOI: 10.5267/j.dsl.2014.8.003.

47. Salehi, M. Application of Fuzzy TOPSIS Technique for Evaluation of Project / M. Salehi // *World Applied Sciences Journal*. – 2009. – V. 6, № 6. – P. 776–783.

48. Sevкли, M. Development of a fuzzy ANP based SWOT analysis for the airline industry in Turkey / M. Sevкли, A. Oztekin, O. Uysal, G. Torlak, A. Turkyilmaz, D. Delen // *Expert Systems with Applications*. – 2012. – V. 39, iss. 1. – P. 14–24. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.06.047

49. Süße, M. Decision Support for Planning Techniques in Energy Efficiency Projects / M. Süße, J. Stoldt, A. Schlegel, M. Putz // *Procedia CIRP*. – 2018. – V. 69. – P. 306–311. DOI: 10.1016/j.procir.2017.11.015

50. Tang, Y-C. Application of the fuzzy analytic hierarchy process to the lead-free equipment selection decision / Y-C. Tang, T.W. Lin // *Int. Journal Business and Systems Research*. – 2011. – V. 5, № 1. – P. 35–56. DOI: 10.1504/ijbsr.2011.037289

51. Tavana, M. A fuzzy hybrid project portfolio selection method using Data Envelopment Analysis,

- TOPSIS and Integer Programming* / M. Tavana, M. Keramatpour, F.J. Santos-Arteaga, E. Ghorbaniane // *Expert Systems With Applications*. – 2015. – № 42. – P. 8432–8444. DOI: 10.1016/j.eswa.2015.06.057.
52. Vahidnia, M.H. *Fuzzy Analytical Hierarchy Process in GIS application* / M.H. Vahidnia, A. Alesheikh, A. Alimohammadi, A. Bassiri // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2008. – V. XXXVII, Part B2. – P. 593–596.
53. Wu, Y. *An intuitionistic fuzzy multi-criteria framework for large-scale rooftop PV project portfolio selection: Case study in Zhejiang, China* / Y. Wu, Ch. Xu, Y. Ke, K. Chen, X. Sun // *Energy*. – 2018. – V. 143. – P. 295–309. DOI: 10.1016/j.energy.2017.10.105
54. Zadeh, L.A. *Fuzzy sets* / L.A. Zadeh // *Information and Control*. – 1965. – V. 8, iss. 3. – P. 338–353. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X
55. Zadeh, L.A. *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning – I* / L.A. Zadeh // *Information Sciences*. – 1975. – V.8, iss. 3, P. 199–249. DOI: 10.1016/0020-0255(75)90036-5
56. Zadeh, L.A. *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning – II* / L.A. Zadeh // *Information Sciences*. – 1975. – V. 8, iss. 4. – P. 301–357. DOI: 10.1016/0020-0255(75)90046-8
57. Zadeh, L.A. *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning – III* / L.A. Zadeh // *Information Sciences*. – 1975. – V. 9, iss. 1. – P. 43–80. DOI: 10.1016/0020-0255(75)90017-1
58. Zadeh, L.A. *Fuzzy sets and their applications to Cognitive and Decision Processes* / L.A. Zadeh, K.-S. Fu, K. Tanaka, M. Shimura. – New York: Academic Press, 1975. – 496 p.
59. Zadeh, L.A. *Fuzzy Probabilities and Their Role in Decision Analysis* / L.A. Zadeh // *IFAC Proceedings Volumes*. – 1975. – V. 15, iss. 1. – P. 15–21. DOI: 10.1016/S1474-6670(17)63319-6
60. Zadeh, L.A. *The role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems* / L.A. Zadeh // *Fuzzy Sets and Systems*. – 1983. – V. 11, iss. 1–3. – P. 199–227. DOI: 10.1016/S0165-0114(83)80081-5
61. Zadeh, L.A. *Approximate reasoning in intelligent systems, decision and control* / L.A. Zadeh, E. Sanchez. – Oxford etc.: Pergamon press. – 1987. – 195 p.
62. Zadeh, L.A. *Fuzzy Logic for the Management of Uncertainty* / L.A. Zadeh, J. Kacprzyk. – New-York: John Wiley & Sons Inc. – 1992. – 676 p.
63. Zadeh, L.A. *Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility* / L.A. Zadeh // *Fuzzy Sets and Systems*. – 1999. – V. 100. – P. 9–34. DOI: 10.1016/S0165-0114(99)80004-9
64. Zadeh, L.A. *Fuzzy theory systems: Techniques and applications* / Ed. by C.T. Leondes; [Forew. by L.A. Zadeh]. – San Diego etc.: Acad. press, Cop. – 1999. – 1746 p.

Шагеев Денис Анатольевич, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и управления ЧОУВО «Международный институт дизайна и сервиса» (г. Челябинск), denis-shageev@yandex.ru

Поступила в редакцию 9 апреля 2019 г.

DOI: 10.14529/em190414

METHODS OF DEVELOPMENT OF COORDINATED MANAGERIAL DECISIONS FOR SELECTION OF EFFICIENT PROJECTS. PART 2

D.A. Shageev

International Institute of Design and Service, Chelyabinsk, Russian Federation

Results of fundamental analysis of treatises have helped educe some problems (limitation, weaknesses and contradictions) on the basis of which has been formulated the direction of further development of the financial management on the efficient project chosen. New methodology in the range of designated direction is suggested for developing coordinated management decisions for the selection of effective investment projects. There are two fundamental theses in the methodology, which have scientific originality for financial and math sciences: synthesis of analytic hierarchy process (AHP) with elements of math statistics; synthesis AHP with fuzzy sets methods and math statistics methods. The first statement has disclosed in the previous article of the author. This article aims to introduce the second statement.

The obtained results of fundamental analysis have allowed formulating the new methodology and modernizing classical representation AHP by T. Saaty to improving weaknesses, contradictions and limitation in part of: extension and correction the experts judgments scale by T. Saaty; new notations of matrix grade has been introduced; using neither one-type but different forms of fuzzy and empty sets in the range of paired comparisons matrix; suggesting new operations of paired comparison in AHP with fuzzy sets; new principles of formation of fuzzy sets variations transitive chains are developed; replacement or supplement of grade compatibility fuzzy exponent in paired comparisons matrix. Upgrade version AHP will help to resolve different problems of multi-criteria choice in all kinds of science with high universality and flexibility degree. The development potential of methods has been determined in the end of the article and AHP.

Keywords: project, capital investment project, managerial decisions, evaluation, correlation, analytic hierarchy process, AHP, fuzzy sets, mathematical statistics.

References

1. Anshin V.M., Demkin I.V., Carkov I.N., Nikonov I.M. [Application of fuzzy set theory to the problem of project portfolio formation]. *Problemy analiza riska* [Problems of risk analysis], 2008, vol. 5, no 3, pp. 8–21. (in Russ.)
2. Borodinin A.I., Streltsova E.D., Katkov E.V. [Assessing the Investment Prospects of Innovative Projects on the Basis of Fuzzy Logic]. *Prikladnaya informatika* [Applied Informatics], 2013, no. 4, iss. 46, pp. 19–25. (in Russ.)
3. Gromyko G.L., Matyuhina I.N. [On the use of the Gini coefficient in economic and statistical studies]. *Voprosy statistiki* [Statistical issues], 2015, no 9, pp. 56–66. (in Russ.) DOI: 10.34023/2313-6383-2015-0-9-56-66
4. Gini C. *Srednie velichiny* [Variabilita e mutabilita]. Moscow, 1970. 447 p.
5. Gini C. *Logika v statistike* [Logic in Statistics]. Moscow, 1973. 125 p.
6. Zadeh L.A. *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhenny`x reshenij* [The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning]. Moscow, 1976, 166 p.
7. Zadeh L.A., Desoer C. A. *Teoriya linejnyh sistem. Metod prostranstva sostoyanij* [Theory of linear systems. State space method]. Moscow, 1970. 703 p.
8. Zajcev K.D. [Implementation of the investment project within the energy efficiency strategy of the energy enterprise]. *Problemy ekonomiki i upravleniya neftegazovym kompleksom* [Problems of economy and management of oil and gas complex], 2015, no 5, pp. 48–52. (in Russ.)
9. Kendall M.G., Stuart A. *Mnogomernyy statisticheskij analiz i vremennyye ryady* [Classical Inference and the Linear Model]. Moscow, 1976. 736 p.
10. Kendall M.G., Stuart A. *Statisticheskiye vyvody i svyazi* [Inference and Relationship]. Moscow, 1973. 899 p.
11. Kendall M.G., Stuart A. *Teoriya raspredeleniy* [Distribution Theory]. Moscow, 1966. 587 p.
12. Kravchenko T.K. [Analytical justification of the choice of the object of venture capital investment]. *Finansovaya analitika: problemy i resheniya* [Financial Analytics: problems and solutions], 2015, no 41, iss. 275, pp. 35–46. (in Russ.)
13. Kulikov D.L., Lykova V.A. [Multi-criteria selection of the investment site method of analysis of hierarchies] *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental study], 2017, no 7, pp. 151–155. (in Russ.)
14. Kurchik A.M. [Multi-Criteria Selection of Projects in Mineral Re-sources Sector with the Help of Analytical Hierarchy Method]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologia i razvedka* [Journal of Higher Educational Institutions. Geology and Prospecting], 2012, no. 3, pp. 73–78. (in Russ.)
15. Likhosherst E.N., Mazelis L.S., Chen A.Ya. [Selection of the optimal portfolio construction company taking into account the requests of stakeholders in the formulation of multi-fuzzy]. *Territoriya novyh vozmozhnostej. Vestnik Vladivostokskogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i servisa* [The Territory of New Opportunities. The Herald of Vladivostok State University of Economics and Service], 2015, no. 4, pp. 27–40. (in Russ.)
16. Putivtseva N.V., Igrunova S.V., Migal L.V., Taylakova D.S., Guryanova I.V. [Development of Program Support for Decision Making in Investment Project Selection]. *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Ekonomika. Informatika* [Scientific Journal of Belgorod State University. Series: Economics. Informatics], 2015, no. 1, iss 198, pp. 111–117. (in Russ.)
17. Remezova E.M., Chernov V.G. [Coordination of Criteria Assessments in Selecting the Investment Projects]. *Dinamika slozhnykh sistem – XXI vek* [Complex Systems Dynamics – 21st Century]. 2016, vol. 10, no. 4, pp. 10–21. (in Russ.)

18. Chvanova M.S., Kiseleva I.A., Molchanov A.A. [Project Selection and its Efficiency Assessment on the Basis of Fuzzy Search and Expert Evaluation Method]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya «Gumanitarnyye nauki»* [Bulletin of Tambov University. Series «Humanities»], 2013, no. 12, iss. 128, pp. 138–150. (in Russ.)
19. Shageev D.A. Conceptual Presentation of the Technique of Developing Coordinated Management Decisions on Selection of Efficient Projects. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2019, vol. 13, no. 1, pp. 162–177. (in Russ.). DOI: 10.14529/em190117
20. Shageev D.A. Methods of development of coordinated managerial decisions for selection of efficient projects. Part 1. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2019, vol. 13, no. 2, pp. 145–164. (in Russ.). DOI: 10.14529/em190218
21. Anyaeche C.O., Adekola S.A. A Fuzzy-Analytical Hierarchy Model for Solid Waste. *Mathematical Theory and Modeling*, 2014, vol. 4, no. 1, pp. 32–47.
22. Bellman R.E., Zadeh L.A. Decision-Making in a Fuzzy Environment. *Management Science*, 1970, vol. 7, iss. 4, pp. 141–164. DOI: 10.1287/mnsc.17.4.B141
23. Božanić D., Pamučar D., Bojanić D. Modification of the analytic hierarchy process (AHP) method using fuzzy logic: fuzzy AHP approach as a support to the decision making process concerning engagement of the group for additional hindering. *Serbian Journal of Management*, 2015, vol. 10, no 2, pp. 151–171. DOI: 10.5937/sjm10-7223
24. Çebi A., Karal H. An application of fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) for evaluating students project. *Educational Research and Reviews*, 2017, vol. 12, iss. 3, pp. 120–132. DOI: 10.5897/ERR2016.3065.
25. Cheng C.-H., Liou J.J.H., Chiu Ch.-Y. A Consistent Fuzzy Preference Relations Based ANP Model for R&D Project Selection. *Sustainability*, 2017, vol. 9, no. 8, pp. 1352. DOI: 10.3390/su9081352
26. Cox E. *The fuzzy systems handbook: A practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems*. E. Cox [Forew. by L.A. Zadeh]. 2nd ed. San Diego, AP professional, 1999, XLVIII, 716 p.
27. Djolov G. A Note on the Estimation of the Gini Index. *The Journal of Applied Economic Research*, 2014, vol. 8, no. 3, pp. 237–256.
28. Durmuşoğlu Z.D.U. Assessment of techno-entrepreneurship projects by using Analytical Hierarchy Process (AHP). *Technology in Society*, 2018, vol. 54, pp. 41–46. DOI: 10.1016/j.techsoc.2018.02.001
29. Enea M. Project Selection by Constrained Fuzzy AHP. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 2004, no. 3, pp. 39–62. DOI: 10.1023/B:FODM.0000013071.63614.3d
30. Fazlollahtabar H., Eslami H., Salmani H. Designing a Fuzzy Expert System to Evaluate Alternatives in Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *Journal Software Engineering & Applications*, 2010, no. 3, pp. 409–418. DOI: 10.4236/jsea.2010.34046.
31. Gaines B.R., Zimmerman H.J., Zadeh L.A. Fuzzy sets and decision analysis - a perspective. *Fuzzy sets and decision analysis, volume 20 of Studies in the Management Sciences*, Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1984, pp. 3–8.
32. Garbuzova-Schlifter M., Madlener R. AHP-based risk analysis of energy performance contracting projects in Russia. *Energy Policy*, 2016, vol. 97, pp. 559–581. DOI: 10.1016/j.enpol.2016.07.024
33. Jafarzadeh H., Akbari P., Abedin B. A methodology for project portfolio selection under criteria prioritisation, uncertainty and projects interdependency – combination of fuzzy QFD and DEA. *Expert Systems with Applications*, 2018, vol. 110, pp. 237–249. DOI: /10.1016/j.eswa.2018.05.028
34. Jing L., Chen B., Zhang B., Peng H. A hybrid fuzzy stochastic analytical hierarchy process (FSAHP) approach for evaluating ballast water treatment technologies. *Environmental Systems Research*, 2013, pp. 2–10. DOI: 10.1186/2193-2697-2-10.
35. Khalili-Damghani K., Sadi-Nezhad S.A decision support system for fuzzy multi-objective multi-period sustainable project selection. *Computers & Industrial Engineering*, 2013, vol. 64, no. 4, pp. 1045–1060. DOI: 10.1016/j.cie.2013.01.016
36. Khalilzadeh M., Salehi K. A multi-objective fuzzy project selection problem considering social responsibility and risk. *Procedia Computer Science*, 2017, vol. 121, pp. 646–655. DOI: 10.1016/j.procs.2017.11.085
37. Langel M., Tille Y. Variance estimation of the Gini index: revisiting a result several times published. *Journal of the Royal Statistical Society*, 2013, vol. 176, no. 2, pp. 521–540. DOI: 10.1111/j.1467-985X.2012.01048.x
38. Li T., Jin J., Li Ch. Refracted Well Selection for Multicriteria Group Decision Making by Integrating Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS Based on Interval-Typed Fuzzy Numbers. *Journal of Applied Mathematics*, vol. 2012, Article ID 304287, 21 p. DOI: 10.1155/2012/304287.
39. Mandal S. Analytic hierarchy process (AHP) approach for selection of open cast coal mine project / S. Mandal. *International Journal of Industrial Engineering Research and Development*, 2016, vol. 7, no. 2, pp. 01–13, Article ID: IJIERD_07_02_001

40. Mahendran P., Moorthy M.B.K., Saravanan S. A Fuzzy AHP Approach for Selection of Measuring Instrument for Engineering College Selection. *Applied Mathematical Sciences*, 2014, vol. 8, no. 44, pp. 2149–2161. DOI: 10.12988/ams.2014.44232
41. Mahmoodzadeh S., Shahrabi J., Pariazar M., Zaeri M.S. Project Selection by Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique. *Digital Open Science Index. International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, 2007, vol. 1, no. 6, pp. 270–275.
42. Moeini H. Vendor Selection via Fuzzy Analytic Hierarchy Process: A Case Study. *Int. Journal of Social Science and Management*, 2014, vol. 1, no. 1, pp. 61–69.
43. Nassif L.N., Filho J.C.S., Nogueira J.M. Project Portfolio Selection in Public Administration Using Fuzzy Logic. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2013, vol. 74, pp. 41–50. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.03.036
44. Pérez F., Gómez T., Caballero R., Liern V. Project portfolio selection and planning with fuzzy constraints. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018, vol. 131, pp. 117–129. DOI: 10.1016/j.techfore.2017.07.012
45. Peetawan W., Suthiwartnarueput K. Identifying factors affecting the success of rail infrastructure development projects contributing to a logistics platform: A Thailand case study. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 2018, vol. 39, no. 2, pp. 320–327. DOI: 10.1016/j.kjss.2018.05.002
46. Salehi K. A hybrid fuzzy MCDM approach for project selection problem. *Decision Science Letters*, 2015, no. 4, pp. 109–116. DOI: 10.5267/j.dsl.2014.8.003.
47. Salehi M. Application of Fuzzy TOPSIS Technique for Evaluation of Project. *World Applied Sciences Journal*, 2009, vol. 6, no. 6, pp. 776–783.
48. Sevkli M., Oztekin A., Uysal O., Torlak G., Turkyilmaz A., Delen D. Development of a fuzzy ANP based SWOT analysis for the airline industry in Turkey. *Expert Systems with Applications*, 2012, vol. 39, no. 1, pp. 14–24. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.06.047
49. Süße M., Stoldt J., Schlegel A., Putz M. Decision Support for Planning Techniques in Energy Efficiency Projects. *Procedia CIRP*, 2018, vol. 69, pp. 306–311. DOI: 10.1016/j.procir.2017.11.015
50. Tang Y-C, Lin T.W. Application of the fuzzy analytic hierarchy process to the lead-free equipment selection decision. *Int. J. Business and Systems Research*, 2011, vol. 5, no. 1, pp. 35–56. DOI: 10.1504/ijbsr.2011.037289
51. Tavana M., Keramatpour M., Santos-Arteaga F.J., Ghorbaniane E. A fuzzy hybrid project portfolio selection method using Data Envelopment Analysis, TOPSIS and Integer Programming. *Expert Systems With Applications*, 2015, no. 42, pp. 8432–8444. DOI: 10.1016/j.eswa.2015.06.057.
52. Vahidnia M.H., Alesheikh A., Alimohammad A., Bassirid A. Fuzzy Analytical Hierarchy Process in GIS application. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing 2008, vol. XXXVII, Part B2, pp. 593–596.
53. Wu Y., Xu Ch., Ke Y., Chen K., Sun X. An intuitionistic fuzzy multi-criteria framework for large-scale rooftop PV project portfolio selection: Case study in Zhejiang, China. *Energy*, 2018, vol. 143, pp. 295–309. DOI: 10.1016/j.energy.2017.10.105
54. Zadeh L.A. Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965, vol. 8, no. 3, pp. 338–353. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X
55. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning – I. *Information Sciences*, 1975, vol.8, no. 3, pp. 199–249. DOI: 10.1016/0020-0255(75)90036-5
56. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning – II. *Information Sciences*, 1975, vol. 8, no. 4, pp. 301–357. DOI: 10.1016/0020-0255(75)90046-8
57. Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning – III. *Information Sciences*, 1975, vol. 9, no. 1, pp. 43–80. DOI: 10.1016/0020-0255(75)90017-1
58. Zadeh L.A., Fu K.-S., Tanaka K., Shimura M. *Fuzzy sets and their applications to Cognitive and Decision Processes*. New York, Academic Press, 1975, 496 p.
59. Zadeh, L.A. Fuzzy Probabilities and Their Role in Decision Analysis. *IFAC Proceedings Volumes*, 1975, vol. 15, no. 1, pp. 15–21. DOI: 10.1016/S1474-6670(17)63319-6
60. Zadeh L.A. The role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems. *Fuzzy Sets and Systems*, 1983, vol. 11, no. 1–3, pp. 199–227. DOI: 10.1016/S0165-0114(83)80081-5
61. Zadeh L.A., Sanchez E. *Approximate reasoning in intelligent systems, decision and control*. Oxford etc. Pergamon press, 1987. 195 p.
62. Zadeh L.A., Kacprzyk J. *Fuzzy Logic for the Management of Uncertainty*. John Wiley & Sons Inc. New-York, 1992. 676 p.
63. Zadeh L.A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1999. vol. 100, pp. 9–34. DOI: 10.1016/S0165-0114(99)80004-9

64. Zadeh L.A., Leondes C.T. *Fuzzy theory systems: Techniques and applications*. Acad. press, cop. San Diego etc., 1999. 1746 p.

Denis A. Shageev, Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor at the Department of Economics and Management, International Institute of Design and Service, Chelyabinsk, denisshageev@yandex.ru

Received April 9, 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Шагеев, Д.А. Методика разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов. Часть 2 / Д.А. Шагеев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2019. – Т. 13, № 4. – С. 130–148. DOI: 10.14529/em190414

FOR CITATION

Shageev D.A. Methods of development of coordinated managerial decisions for selection of efficient projects. Part 2. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2019, vol. 13, no. 4, pp. 130–148. (in Russ.). DOI: 10.14529/em190414
