УДК 65.012.123; 51-7; 519.816 DOI: 10.14529/em200110

МОДИФИКАЦИЯ МАИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В МЕТОДИКЕ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ ПРОЕКТОВ И ДРУГИХ ОБЛАСТЯХ НАУКИ

Д.А. Шагеев

Международный институт дизайна и сервиса, г. Челябинск, Россия

Автор продолжает цикл публикаций в области развития сформулированных ранее (части 1 и 2) ядра и двух фундаментальных положений в методике выбора эффективных проектов через разные решения модификации МАИ для финансовой и математической науки. В данной статье автор уделяет особое внимание повышению точности измерений матричных, нормированных и векторных оценок для развития универсальных свойств МАИ за счёт следующих решений, обладающих разными качествами научной новизны: введения новых формул вычисления матричных оценок с подробными инструкциями их применения; предложения девяти разных вариантов комбинаций МАИ, в каждой из которых включено четыре классификатора (AHPMS-M1.N, AHPMS(AM)-M1.N, FAHPMS-M1.N и AHPDD-M1.N) на базе целочисленной и дробночисленной 9-балльной шкалы Т. Саати; описания вариантов решения проблем измерения матричных оценок, образованных нестандартно измеренными элементами матрицы.

Также описаны перспективы применения модификаций МАИ первого поколения на базе дробночисленных шкал, в результате которых появились новые научные категории для методики выбора эффективных проектов и др. областей науки: «Суперзадача», «Суперматрица»; «Супериерархия»; «Супермассив Данных». А также классификатор – AHPMS(AM)-M1.N, позволяющий работать с элементами матрицы, которые безразличны к естественным измерениям, зато чувствительны к искусственным измерениям. В свою очередь классификатор AHPDD-M1.N позволяет работать с детерминированными данными и полностью исключить экспертную составляющую из исследования.

Указанные решения разработаны в результате выполненного анализа фундаментального и исторически сложившегося представления шкалы измерения экспертных суждений в МАИ и др. свойств/характеристик МАИ за последние 40 лет. В заключении определены горизонты дальнейшего исследования в направлении модификации МАИ первого и второго поколения.

Ключевые слова: МАИ, анализ иерархий, нечёткие множества, измерения, шкалы, экспертные оценки, проекты, управленческие решения, искусственный интеллект.

Семь раз отмерь, один раз отрежь.
Молодёжный юмористический журнал «Ералаш»

Введение

Для того, чтобы не получилось, как в одном из выпусков известного юмористического журнала «Ералаш», где мальчик по фамилии Перетрухин, руководствуясь принципом «семь раз отмерь, один раз отрежь» смастерил табурет в семь раз больше требуемого образца, следует почаще обращать особое внимание на вполне известные и обыденные явления в нашей жизни и стараться их постоянно пересматривать и модернизировать. Наука – это тоже часть нашей жизни, в которой есть свои, казалось бы, фундаментальные, неоспоримые, аксиоматические, в общем все те Знания, к которым мы привыкли и уже не замечаем или не хотим замечать их недостатки и/или противоречия, и/или ограничения. Например, в науке есть всем известный и популярный в разных областях человеческой деятельности метод анализа иерархий (МАИ), которым пользуются уже 40 лет для решения разных задач многокритериального выбора. При этом, за редким исключением, за это время во всём мире появилась серьёзная или хотя бы просто критика МАИ по существу. В своём подавляющем большинстве этот уже обыденный метод используют, не задумываясь о каких-либо его недостатках и/или противоречиях, а ограничения принимаются как должное. Таким образом, в этой сложившейся ситуации за последние 40 лет пользователи МАИ, как и мальчик Перетрухин, не замечают, что «табурет» под названием МАИ, на котором они сидят, в 7 раз больше требуемого реального эталона, который в большей степени согласуется с реальной природой измерений в математике. Автор данной статьи и сам, признаться, спокойно сидел и особо не задумывался на этом «неудобном табурете» более 7 лет. ***При этом автор ни в коем случае не принижает научные достижения Т. Саати в части МАИ, а, наоборот, относится к ним с большим уважением! Если бы не научная активность Т. Саати, возможно не появился бы МАИ, и автору данной статьи нечего было бы модифицировать для дальнейшего развития науки.***

В данной статье описывается ряд научных положений, которые в очередной раз [17, 18] дополняют методику разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов и дополняют непосредственно сам МАИ через разные модификации. Таким образом, обыденный МАИ существенно изменит свою структуру и содержание за счёт выявления и сокращения недостатков, определения и исключения противоречий, и в конечном счёте преодоления ограничений. Тогда можно будет приблизиться к «табуретному» эталону, который в большей степени согласуется с реальной природой измерений в математике.

Напомним, что методика выбора эффективных проектов состоит из ядра и двух фундаментальных положений, которые были не полностью описаны автором, даже при существенном превышении общепринятого учёным сообществом максимально возможного объёма для публикации статьи в рецензируемых периодических изданиях (не более 40 000 знаков).

1. В качестве ядра методики выступила универсальная и условно не имеющая ограничений в уровнях и количестве объектов иерархия проблемы выбора эффективных проектов на базе МАИ **(AHP – Analytic Hierarchy Process)**. Принята базовая форма иерархии (рис. 1) [17].

2. Первое фундаментальное положение, обладающее научной новизной для финансовой и математической науки: синтез МАИ с методами математической статистики **(AHPMS – Analytic Hierarchy Process and Mathematical Statistics)** [17]. Объём ядра и первого положения методики составил 85 000 знаков.

3. Второе фундаментальное положение, обладающее научной новизной для финансовой и математической науки: синтез МАИ с методами теории нечётких множеств и методами математической статистики (**FAHPMS – Fuzzy Analytic Hierarchy Processand Mathematical Statistics**) [18]. Объём этого положения составил 76 000 знаков.

Уделено внимание ещё нескольким особенностям, которые объединили оба положения: наличие в методике возможности разработки и принятия сбалансированных управленческих решений четырёх порядков; определён потенциал дальнейшего развития методики и МАИ с учётом изложенных и др. отличительных особенностей.

Все описанные в статье модификации ядра, двух фундаментальных положений и др. представлений методики и МАИ разделены заголовками. Раскроем эти модификации.

Анализ фундаментального и исторически сложившегося представления шкалы измерения экспертных суждений в МАИ с учётом разных модификаций

Практически все представители науки находятся в постоянном поиске критериев, показателей, методов, методик, принципов и т. д. для измерений, в том числе повышения точности измерений всевозможных природных и искусственно созданных явлений, и не только их, например, гуманитарного аспекта. Эти и др. действия позволяют через науку представителям всего человеческого сообщества приблизиться к истинному пониманию сути указанных явлений. И это понимание тем больше, чем выше точность измерений. Представители уральской экономико-управленческой научной мысли тоже вовлечены в этот процесс поиска. Отметим лишь ничтожно малую часть современных трудов некоторых представителей: Т.А. Худякова и А.В. Шмидт [26]; И.А. Баев, И.А. Соловьева и А.П. Дзюба [2]; А.А. Алабугин и Н.С. Орешкина [1]; Е.Г. Бодрова и А.А. Лещукова [3]; В.В. Журавлев и И.В. Согрин [4]; И.С. Полушина [11]; мн. др. Данная статья автора, как представителя этой уральской научной мысли, направлена на приращение научного знания в части повышения точности измерений локальных и результирующих векторов приоритетов в МАИ для методики выбора эффективных проектов и для др. областей человеческой деятельности.

Т. Саати в одной из своих последних публикаций в очередной раз обосновывает целесообразность использования **целочисленной** 9-балльной с восемью основными интервалами измерения фундаментальной шкалы в МАИ (последняя редакция, табл. 1 [12, с. 10]) при помощи логарифмической функции Вебера Фехнера [12, 27, 31] из научной области психофизики, а также концепции значимых различий (Just Noticeable Differences, JND), хорошо известной в психологии. В более ранних научных трудах Т. Саати давал обоснование своей шкале при помощи разных положений не только из области психофизики и психологии, но и из области математики и др. точных наук (см. научные труды под номерами 14, 40, 41, 47, 48 и др. из источника [17]). Также важно отметить, что прежде чем Т. Саати пришёл к целочисленной 9-балльной шкале, он провёл исследования 27 разных видов шкал [14, с. 55–63] на предмет удобства восприятия человеческой психикой и математическим требованиям МАИ (также, см. труды Т. Саати в списке литературы из источника [17] и данной статьи).

Однако за последние 33 года были предприняты разные попытки модификации традиционной шкалы МАИ, которые обнаружены в источниках из международных баз цитирования Scopus и Web of Since. Например, Б.Р. Мисариганда [28], Э. Лабиб [25] и А. Ишизака [25, 28] объединили разные представления и модификации шкалы МАИ в форме таблицы 2. В других источниках указанных баз встречаются либо такие же варианты модификаций шкалы с ссылками на указанных авторов, либо с ссылками на первоисточники (см. табл. 2, первый столбец).

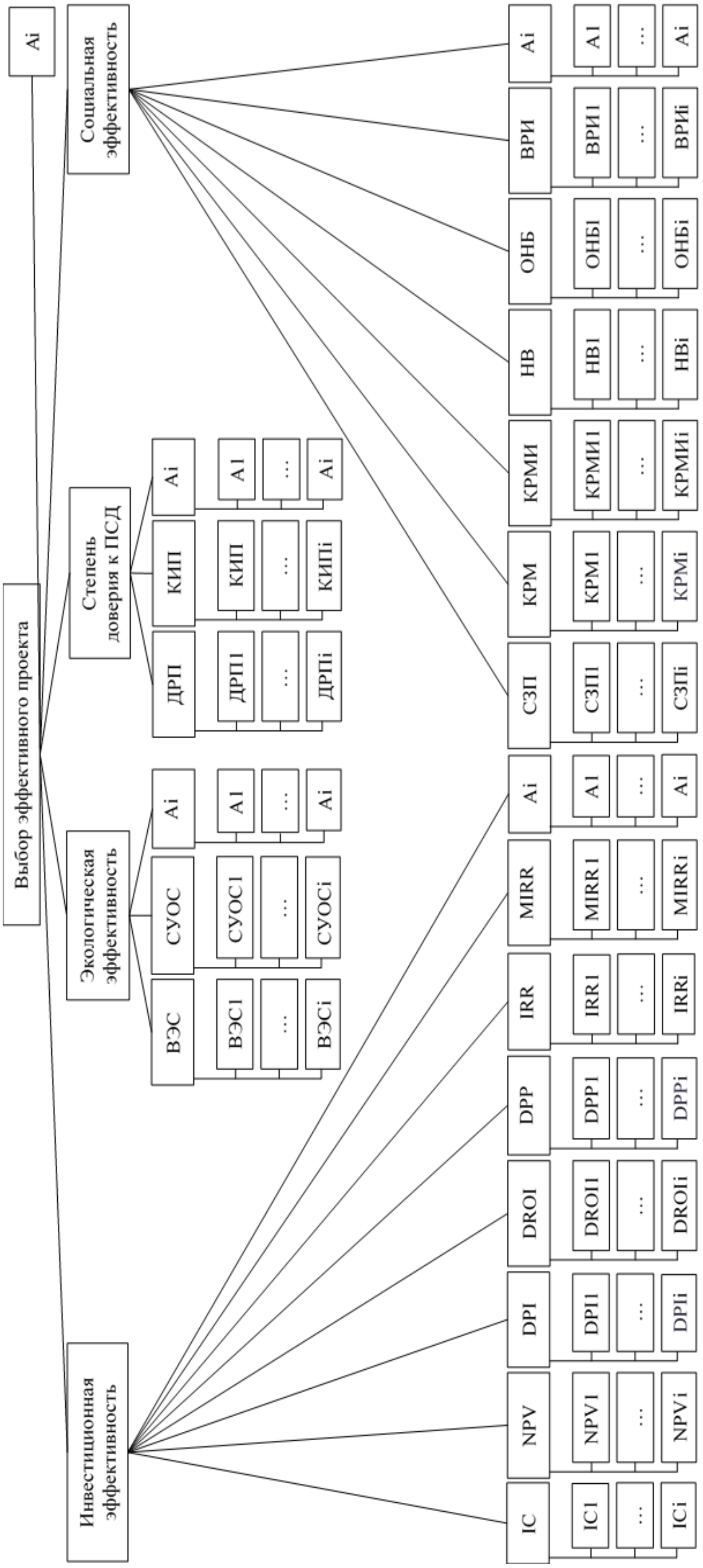

Рис. 1. Иерархия проблемы выбора эффективного проекта

Таблица 1

Фундаментальная целочисленная 9-балльная шкала измерения субъективных суждений экспертов Т. Саати в МАИ, баллы

Степень предпочтения	Определение	Комментарии
1	Отсутствие предпочтения	Две альтернативы одинаково предпочтительны с точки зрения цели
2	Слабое (легкое) предпочтение	
3	Умеренное (среднее) предпочтение	Опыт эксперта позволяет считать одну из альтернатив немного предпочтительнее другой
4	Предпочтение чуть выше среднего	
5	Заметное предпочтение	Опыт эксперта позволяет считать одну из альтернатив значительно предпочтительнее другой
6	Очень заметное предпочтение	Опыт эксперта позволяет считать одну из альтернатив гораздо предпочтительнее другой: доминирование альтернативы подтверждено практикой
7	Сильное (очевидное) предпочтение	
8	Очень сильное предпочтение	
9	Абсолютное предпочтение	Очевидность подавляющей предпочтительности одной альтернативы над другой имеет неоспоримое подтверждение
Обратные значения оценок предпочтений: 1/2; 1/3; 1/4; 1/5; 1/6; 1/7; 1/8; 1/9*	Если предпочтительность i-й альтернативы по сравнению с j-й имеет одно из приведенных выше значений, то оценка предпочтительности j-й альтернативы перед i-й будет иметь обратное значение	Логическое допущение
Измерения в шкале отношений		В случаях, когда желательно использовать эти числа в физических приложениях. И наоборот, можно оценивать отношения таких величин с использованием суждений

*Добавлено автором данной статьи для расширенного представления известной шкалы Т. Саати

Автор данной статьи попытался определить и понять возможности использования указанных модификаций шкалы Т. Саати для решения практических задач в методике выбора эффективных проектов и в др. областях науки. В результате реализации этой попытки автор определил крайне редкие возможности или скорее попытки применения указанных модифицированных шкал в зарубежных базах научных данных, и чаще всего это были сами авторы модификаций, а в отечественной базе научных данных даже и этих попыток не выявлено. Скорее всего такой результат в науке получен из-за следующих причин: степени предпочтений для реализации попарного оценивания объектов в матрице МАИ будут совершенно не удобны и адекватно не воспринимаемы экспертами; неравные шаги шкал будут тоже совершенно неудобны и не понятны экспертам в процессе их работы с МАИ; даже если эти модифицированные шкалы всё же попробовать интегрировать в какую-либо методику для решения конкретных практических задач, то из-за указанной первой и второй причины эти действия приведут к многочисленным ошибкам в работе экспертов и соответственно низкому или вообще отсутствующему качеству исследования. Также следует отметить проблематичность использования указанных шкал для обработки супермассива данных, для решения суперзадач с исключением человеческого фактора субъективизма при помощи прогрессивных технологий искусственного интеллекта, понадобятся очень сложные математические алгоритмы для вычислений в МАИ, но даже если использовать эти алгоритмы, будет очень сложно или даже неудобно интерпретировать полученные результаты исследований.

В результате рассмотренные модификации есть ничто иное, как математические действия, предпринятые ради самой математики («математика ради математики») без учёта какой-либо полезности для решения прикладных задач использования МАИ в разных областях человеческой деятельности.

Таблица 2

Исторически сложившиеся представления и модификации шкалы оценивания субъективных суждений экспертов Т. Саати в МАИ [25], баллы*

Тип шкал и авторы	Определения	Параметры	Дополнения параметров [22]
Линейный (Т. Саати, 1977 г.)	$c = a \times x$	$a > 0; x = \{1; 2; \ldots; 9\}$	$\{1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9\}$
Степенной (П. Харкер и Л.Варгас 1987 г.)	$c = x^a$	$a > 1; x = \{1; 2; \ldots; 9\}$	$\{1; 4; 9; 16; 25; 36; 49; 64; 81\}$
Квадратный корень (П. Харкер и Л. Варгас 1987 г.)	$c = \sqrt[a]{x}$	$a > 1; x = \{1; 2; \ldots; 9\}$	$\{1; \sqrt{2}; \sqrt{3}; 2; \sqrt{5}; \sqrt{6}; \sqrt{7}; \sqrt{8}; 3\}$
Геометрический (Ф. Луцма, 1989 г.)	$c = a^{x-1}$	$a > 1$; частота $\sqrt{2}$; $x = \{1; 2; \ldots; 9\}$ или $x = \{1; 1,5; \ldots; 4\}$ или другие шаги	$\{1; 2; 4; 8; 16; 32; 64; 128; 256\}$
Обратный линейный (Д. Ма и Кс. Чжэн, 1991 г.)	$c = 9/(10 - x)$	$x = \{1; 2; \ldots; 9\}$	$\left\{\begin{matrix}1; 1,13; 1,29; 1,5; \\ 1,8; 2,25; 3; 4,5; 9\end{matrix}\right\}$
Асимптотический (Ф. Додд и Х. Донеган, 1995 г.)	$c = \tanh^{-1}\left(\frac{\sqrt{3}(x-1)}{14}\right)$	$x = \{1; 2; \ldots; 9\}$	$\left\{\begin{matrix}0; 0,12; 0,24; 0,36; 0,46; \\ 0,55; 0,63; 0,7; 0,76\end{matrix}\right\}$
Взвешенный (А. Сало и Р. Хамалайнен, 1997 г.)	$c = w/(1 - w)$	$w = \left\{\begin{matrix}0,5; 0,55; \\ 0,6; \ldots; 0,9\end{matrix}\right\}$	$\left\{\begin{matrix}1; 1,22; 1,5; 1,86; \\ 2,33; 4; 5,67; 9\end{matrix}\right\}$
Логорифмический (А. Ишизака, Д. Балкенборг и Т. Каплан, 2010 г.)	$c = \log_a(x + (a - 1))$	$a > 1; x = \{1; 2; \ldots; 9\}$	$\left\{\begin{matrix}1; 1,58; 2; 2,2; 2.58; \\ 2,81; 3; 3,17; 3,32\end{matrix}\right\}$
Взвешенный степенной (М.А. Эллиотт, 2010 г.) [21, 28]	$c = (\sqrt[n-1]{9})^{x-1}$	$x = \{1; 2; \ldots; n\}$	Нет данных

*Оригинальное название таблицы «Different scales for comparing two alternatives (for the comparison of A and B, c = 1 indicates A = B; c > 1 indicates A > B; when A < B, the reciprocal values 1/c are used)» [25].

Далее приведём лишь ничтожно малую часть научных источников (из-за объективной причины лимита объёма статьи) где обнаружена активная дискуссия по поводу ограничений фундаментальной шкалы Т. Саати:

1) из международных баз цитирования Scopus и Web of Since: А. Ишизака и А. Лабиб [25]; Б.Р. Мисариганда и А. Ишизака [28]; Дж. Франек [22]; М.А. Эллиотт [21]; А. Гнанавелбабу и П. Аранагири [23]; К. Бенмоус, М. Лаазири, С. Кхаулджи, М.Л. Керкеб и А.И. Ямани [20].

2) из научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU: И.Н. Мощенко [9]; В.Б. Коробов и А.Г. Тутыгин [6]; О.В. Подиновская и В.В. Подиновский [10]; В.М. Картвелишвили и Э.А. Лебедюк [5]; В.Г. Митихин [7, 8].

При всех недостатках и ограничениях, выявленных за последние 33 года, фундаментальная шкала Т. Саати всё же в 99,99…% (за всю историю существования и использования МАИ) случаев позволяет универсально решать разные задачи в научно-практическом аспекте и в какой-то степени удовлетворяет её пользователей. Этому свидетельствует более 21 000 публикации в БД Scopus и более 6000 публикаций в БД РИНЦ. Именно поэтому для нашей методики выбора эффективных проектов и МАИ в целом в первую очередь предлагаются естественно–эволюционные решения о модификации целочисленной 9-балльной шкалы Т. Саати и её полного 17-балльного исполнения, а во вторую очередь будут (в др. статьях автора) предложены революционные альтернативы, которые полностью изменят классическое и современное представление не только шкалы, но и ключевых правил исполнения МАИ.

В первой части статьи [17] автор предложил два варианта модификации полной 17-балльной шкалы Т. Саати:

1) 9-тибалльная модифицированная шкала по группам оценок в баллах: 9 и 8; 7 и 6; 5 и 4; 3 и 2; 1; 1/2 и 1/3; 1/4 и 1/5; 1/6 и 1/7; 1/8 и 1/9;

2) 7-балльная модифицированная шкала по группам оценок в баллах: 9, 8 и 7; 6, 5 и 4; 3 и 2; 1; 1/2 и 1/3; 1/4, 1/5 и 1/6; 1/7, 1/8 и 1/9.

Эти модификации необходимы для повышения качества исследования согласованности экспертных суждений, выраженных в экспертных матричных оценках a_{ij}^{n} и $1/a_{ij}^{n}$ при помощи критериев математической статистики, при расчёте которых учитываются разряды признака (типа Пирсона, Колмогорова-Смирнова и мн. др. из категории «Супермаркет Статистики» [18]) в форме полной или модифицированной шкалы Т. Саати.

Например, для вычислений критериев Пирсона и Колмогорова-Смирнова в первую очередь выбирается оригинальный вариант числовой шкалы Т. Саати, если эмпирические их значения будут меньше табличных, тогда сначала можно будет использовать 9-балльную модификацию, а уже в последнюю очередь 7-балльную. Соответственно степень доверия к агрегированным матричным оценкам a_{ij}^{ag} и $1/a_{ij}^{ag}$ будет следующей: высшая при использовании полной 17-балльной шкалы; средняя при использовании 9-балльной модификации; низшая при использовании 7-балльной модификации шкалы [17]. Такие действия в определённой степени доверия помогут статистически подтвердить или опровергнуть результаты исследования, в котором может принять участие не менее 8–10 человек экспертов с учётом их весовых категорий.

Кроме указанных двух модификаций, назовём их косвенными, необходима прямая естественно-эволюционная модификация целочисленной 9-балльной шкалы Т. Саати (см. табл. 1). Представленные косвенные модификации на режим работы эксперта при попарном оценивании объектов иерархии в матрице не влияют, так как они нужны только для вычисления статистики a_{ij}^{n} $(1/a_{ij}^{n})$ и только в случае частичного или полного участия экспертов. Другое дело, прямая модификация целочисленной 9-балльной шкалы в **дробночисленную**, которая поможет решить ряд проблем точности измерений в методике выбора эффективных проектов и МАИ, влияя на режим работы эксперта при попарном оценивании на прямую, а также позволит решать многокритериальные задачи разного ранга сложности с частичным или полным исключением человеческого фактора, в том числе и при помощи прогрессивных технологий искусственного интеллекта. Рассмотрим эти проблемы точности измерений и их решения через фундаментальную шкалу Т. Саати в следующих разделах статьи.

Постановка проблем точности измерений через фундаментальную шкалу Т. Саати в методике выбора эффективных проектов и других областях науки

На данном этапе исследовательской работы автор выявил 7 взаимосвязанных проблем точности измерений в методике выбора эффективных проектов через шкалу Т. Саати из МАИ.

Проблема 1. Существенно ограниченны возможности применения целочисленной шкалы Т. Саати в количестве 7 ± 9 [29; 12, с. 11], сравниваемых объектов в рамках матрицы МАИ. А если количество объектов принимается 7 ± 9 и более, то достаточно сложно или даже практически невозможно будет проверить выполнение принципа транзитивности и корректно вычислить коэффициент отношения согласованности (ОС) оценок в границах матрицы.

Проблема 2. Из-за проблемы один очень низкая точность оценки локальных и в конечном счёте результирующих векторов приоритетов в МАИ. Забегая вперёд уместно отметить, что точность оценки векторов возможно повысить при помощи повышения точности измерения матричных оценок до десятых, сотых, тысячных, десятитысячных и более значений после запятой в рамках дробночисленной 9-балльной модифицированной шкалы Т. Саати. Такое действие не просто поможет получить более точные оценки локальных и результирующих векторов во всех матрицах иерархии, но и эффективно распределить ограниченный денежный поток (инвестиционный поток) по управленческим решениям четырёх порядков в форме эффективных проектов [18] и не только [16].

Проблема 3. В уточнении проблемы два следует отдельно отметить, что если в исследовании есть группа из 2, 3, 4-х и более объектов, которые будут обладать примерно равными измерениями, а в матрице будут ещё отдельные объекты или др. группы примерно равных объектов, заметно превосходящих или меньших чем указанная группа и/или др. отдельные объекты и/или др. группы, то неточности парных сравнений по целочисленной 9-балльной шкале с шагом в один целочисленный балл для определения матричных оценок будут неизбежны. 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 объектов (10; 10,4; 12) и в группе объектов (31; 32) нет существенных отличий. Далее группа объектов (10; 10,4; 12) существенно отличается от группы объектов (31; 32; 37). Это очевидное явление окажет отрицательное влияние на точность измерений матричных оценок, локальных и, в конечном счёте, результирующих векторов приоритетов в МАИ и методике выбора эффективных проектов.

Проблема 4 является продолжением 1, 2 и 3 проблемы в различных сочетаниях и следствиях – это наличие в целочисленной 9-балльной шкале Т. Саати степени предпочтения в форме её отсутствия или равнозначности сравниваемых объектов в матрице, измеряемых **«единицей»** (см. табл. 1). В любой матрице МАИ при попарном оценивании объекта с самим собой по умолчанию выставляется оценка «1», так как соблюдается очевидное правило, заданное Т. Саати: А1=А1=1; А2=А2=1; …; Ai=Aj=1. Также могут быть случаи, когда два и более разных объектов равны или примерно равны друг другу, например: A1≅A2=1; …; Ai≅Aj=1. И в этих случаях в МАИ тоже требуется выставлять оценку «1», др. варианта просто не предусмотрено. Однако если в указанных случаях выставлять в матрицах «1», то получаются не точные нормированные и векторные оценки в матрице МАИ. Эта единица при реализации операции нормирования матричных оценок даёт искажения измерений до десятитысячных, тысячных, сотых, или в малых матрицах даже десятых значений после запятой. Соответственно можно наблюдать несколько закономерностей: чем меньше размер матрицы, тем более неточные измерения векторов получатся на выходе; чем больше размер матрицы, тем более точные значения векторов приоритетов можно получить за счёт условного «растворения» значимости единиц в процедурах нормирования. Однако если предположить, что количество единиц по отношению к другим оценкам в матрице не равных единице примерно 1/5–1/4 и более, то вторая закономерность не будет соблюдаться при условии, что источником единиц являются Ai≅Aj=1. В таких случаях корректность вычислений нормированных оценок и самих векторов приоритетов в матрице парных сравнений следует ставить под сомнение. Следует опытным путём проверить указанные утверждения.

Проблема 5. В процессе реализации решений проблем 1–4 на практике появляется ещё одна проблема, которая связана с ограничениями использования и невозможностью корректного вычисления показателя ОС в случаях проверки индивидуальных и/или агрегированных суждений экспертов и в случаях объективного оценивания без участия экспертов. Потому что при правильной транзитивной логике и наличия в матрице оценок «0» показатель ОС будет $OC < 0$, а если нарушить принцип транзитивности, то показатель ОС адекватно сработает и покажет это нарушение $OC > 0{,}1$, но только при условии, что количество объектов в матрице будет не более 7±9. А если размерность матрицы превышает 7±9, особенно для очень больших матриц, то в любых случаях показатель ОС полностью теряет всякий смысл, так как при малом количестве ошибок в транзитивной логике показатель $OC < 0{,}1$. Есть и др. ограничения, проблемы корректности использования показателя ОС. Именно поэтому Т. Саати и рекомендует использовать свою фундаментальную целочисленную шкалу [1;…;9], исключая диапазон оценки [0;…;1] и [9;…;∞], не превышать количество сравниваемых объектов в матрице 7±9. Указанная проблема пять также ставит под сомнение корректность использования в МАИ и интегрального показателя ОС всей иерархии. В связи с описанной сутью пятой проблемы нужны новые решения для формирования безошибочных транзитивных цепей и увеличения точности, адекватности измерений в МАИ для методики выбора эффективных проектов и др. областей науки.

Проблема 6. Нет определённости в измерении результирующих векторов приоритетов из-за неопределённости формы их свёртки. Эту проблему отмечает сам Т. Саати [13], но при этом настаивает на аддитивной форме свёртки векторов, как самой корректной, используя именно её во множестве своих трудов. В.А. Титов и И.Г. Хайрулин пытались доказать правомерность использования мультипликативной формы свёртки векторов на ряду с аддитивной [15], др. исследователи и их решения. Требуется проверка адекватности альтернативных форм свёртки локальных векторов в процессе реализации операции иерархического синтеза для повышения точности измерений в методики выбора эффективных проектов и др. областях науки через МАИ. В том случае, если адекватность альтернативных форм свёртки для МАИ подтвердится, то следует разработать компромиссное решение для их отдельного или совместного применения с аддитивной формой.

Проблема 7. Отдельно следует выделить ещё одну известную проблему в МАИ – это эффект смены степеней предпочтений **«Rank Reversal»**, который заметили В. Белтон, Т. Гир [19]. В.М. Картвелишвили и Э.А. Лебедюк описывают суть эффекта «Rank Reversal», который заключается в том, что «при изменении числа оцениваемых объектов их степень предпочтения (ранжирование) относительно друг друга может меняться» [5]. По мнению О.В. Подиновской и В.В. Подиновского [10] проблема «Rank Reversal» до сих пор не решена в науке. А, по нашему мнению, эта проблема является следствием неточности измерений матричных оценок в границах фундаментальной шкалы Т. Саати. Поэтому в одной из будущих статей будет продемонстрировано решение этой проблемы.

Важное дополнение проблем! За последние 7–8 лет автор данной статьи зафиксировал огромное количество критических высказываний от разных пользователей (коллеги по работе и в науке; представители бизнеса; аспиранты; студенты; др.) классической формы МАИ о том, что ***очень не удобно производить попарное оценивание в самих ячейках матрицы и не только!*** Сложно понять транзитивную логику без привязки объектов матриц к единым измерениям и единым/смежным измерителям, при которой показатель ОС должен быть меньше 0,1, часто приходится изменять и подгонять матричные оценки в ущерб точности измерений и формальной логике сути исследования. При этом если количество объектов 7 ± 9 или даже более, то транзитивная логика для пользователей становится ещё более запутанным и не понятным математическим действием. Очень неудобно или даже невозможно работать с предельной мощностью матрицы в 7±9 объектов, измеряя их попарно в самой ячейки матрицы по целочисленной 9-балльной шкале Т. Саати, в том числе и для того, чтобы угодить эталону $OC < 1$. Отмечается очень низкая точность измерений, не хватает промежуточных дробночисленных измерений, хотя бы для получения эталонного значения ОС. Если в матрице 7 ± 9 объектов, то не просто, а чаще всего невозможно соблюдать правила транзитивности для агрегированных матричных оценок и соответственно невозможно получить правильный показатель ОС. Отсутствие какой-либо возможности нечёткого или даже, хотя бы чёткого представления объектов и элементов матрицы парных сравнений и алгоритма работы с ними, также как и нет показателей или критериев измерения согласованности экспертных суждений, а показателем ОС измеряется только согласованность матричных оценок. При этом следует понимать, что измерение согласованности экспертных суждений и согласованность матричных оценок совершенно разные по своей сути и смыслу действия. Можно привести ещё немало примеров критических высказываний пользователей в адрес МАИ. Так или иначе, многие пользователи приходят к простому выводу по поводу классической формы МАИ – ***«Очень не удобно! Нужны модификации!»***. Указанная и др. критика, решения для её устранения описаны автором в источниках [16–18] и в данной статье, и будут излагаться далее в будущих публикациях.

В следующем разделе статьи описаны решения проблем 1–5. Решения проблем 6 и 7 будут раскрыты в др. статьях автора, также как и данные эксперимента, которые подтвердят решения проблем 1–5 из-за очередного существенного превышения общепринятых норм учёного сообщества по размеру статей для публикации в рецензируемых изданиях.

Решения проблем использования фундаментальной шкалы Т. Саати в форме разных модификаций для повышения степени универсальности применения МАИ в методике выбора эффективных проектов и других областях науки за счёт повышения точности измерений

Поставленную проблему 1, 2 и 3 предлагается решить при помощи модификации целочисленной шкалы Т. Саати в **дробночисленную**. Например, В.Г. Митихин [8] отмечает, что «в МАИ имеются приемы (см., [13]), позволяющие, с одной стороны, осмысленно расширить границы фундаментальной шкалы и перейти от классического случая $[1; \ldots; 9]$ к интервалу $[1; \ldots; \infty)$, а с другой – повысить точность измерения на любом интервале оценок, используя, например, значения 1.1, 1.2, …,1.9 на интервале $[1; 2]$. Ознакомиться с этими процедурами можно в работе Т. Саати [30, с. 38]. Такой подход можно использовать для выявления тонких различий объектов сравнения, а также для еще более тонких, например, на ле $[1.1;\ 1.2]$». Не полностью согласны с В.Г. Митихиным, так как в источнике [30] и его переведённой версии на Русский язык [14], и др. Т. Саати лишь только упоминает о возможностях этих тонких – десятичных измерениях в некоторых частях своих текстов. При этом небезосновательно настаивает и применяет в своих исследованиях исключительно целочисленную 9-балльную шкалу. В каких-либо др. источниках за последние 30–35 лет из зарубежных и отечественной баз научных данных автор этой статьи при всём своём большом желании не встретил какие-либо исследования, где применялась бы дробночисленная 9-балльная шкала или дробночисленные шкалы, выстроенные на базе других целочисленных шкал в МАИ для выявления более тонких различий между сравниваемыми объектами в матрице.

Кроме того, ни Т. Саати и его соавторы, ни В.Г. Митихин, ни другие зарубежные и отечественные учёные в своих трудах из разных научных баз в теории и практике не уделяют внимание какой-либо **интерпретации дробночисленных значений внутри единичного шага,** даже хотя бы для 9-балльной шкалы. Кроме того, практически не встречается научных трудов, где был бы представлен хоть какой-то результат апробации дробночисленного варианта 9-балльной шкалы или др. целочисленных альтернатив. Поэтому для пользователей МАИ до сих пор нет ясности, каким образом и можно ли вообще измерять свои тонкие предпочтения при помощи дробно численной 9-балльной шкалы в виду указанных обстоятельств, критики, четырёх описанных и др. проблем.

В связи с дополнительным уточнением проблемы 1, предлагается измерять эти тонкие предпочтения между целочисленными значениями в 9-балльной шкале при помощи известной в научном мире вербально-числовой шкалы математика Е. Харрингтона [24], которая базируется на функции желательности: очень высокая оценка 0,8 – 1; высокая оценка 0,64 – 0,7999; средняя оценка 0,37 – 0,6399; низкая оценка 0,2 – 0,3699; очень низкая оценка 0 – 0,1999. Интервальные значения функции желательности между целочисленными значениями 9-балльной шкалы Т. Саати помогут сориентироваться экспертам в процессе попарного оценивания в матрице. Например, вернёмся к следующим измерениям объектов в матрице (измеритель – чистая прибыль, а измерения в рублях): 10; 10,4; 12; 31; 32; 37. Где объекты «10» и «10,4» примерно равны, если опираться на фундаментальную целочисленную шкалу и выставить матричную оценку «1», то это будет неверным действием, выставить «2» тоже будет ошибочным действием. Воспользуемся в такой ситуации дробночисленной модификацией шкалы и выставим матричную оценку a_{ij}^{n} **(не путать с $\mathbf{1/a_{ij}^{n}}$)** в не $[0{,}10;\ 0{,}20]$, что будет соответствовать очень низкой оценке 0 – 0,1999 по принятой внутришаговой шкале Е. Харрингтона. При этом следует заметить, что необходимо добавить один интервал измерения $[0;\ 1]$ и таким образом привычная целочисленная шкала $[1; \dots ; 9]$ модифицируется в дробночисленную $[0; \dots ; 9]$. При таком оценивании эксперт будет ближе к объективной истине.

А если соблюдается условие, при котором все сравниваемые объекты в матрице привязаны к единым измерениям и при этом к единым или смежным измерителям, то в этом случае нет необходимости во внутреннем делении шага шкалы согласно функции желательности, также, как и нет какого-либо смысла привлекать к работе экспертов для реализации процедуры попарного оценивания (см. классификатор AHPDD-M1.N в табл. 3 и 4). А когда измерители и измерения нечёткие, то к работе в FAHPMS-M1.N и AHPMS(AM)-M1.N эксперты всё же привлекаются, но не для попарного оценивания и определения матричных оценок, а только для определения самих данных для объектов матриц (см. табл. 3 и 4). **Под измерителями и измерениями** для методики выбора эффективных проектов и др. областей науки, где используется МАИ, можно принимать: чистый дисконтированный доход – рубли; рентабельность – проценты; производительность труда – проценты; сила электрического тока – амперы; плотность материала – кг/м3; любые др.

Для решения проблемы 1, 2 и 3 в купе, можно предложить следующую формулу вычисления матричных оценок $a_{ij} \vee a_{ij}^{n}$ в баллах:

$$a_{ij} \vee a_{ij}^{n} = \frac{|Ai(j) - Aj(i)|}{SS} = \frac{|Ai(j) - Aj(i)|}{((Ai(j)_{max.} - Ai(j)_{min.})/9)} \in \begin{matrix} [1;\dots;9], M1.1-4 \\ [1;\dots;9], M1.5-8 \end{matrix}, \quad (1)$$

$$a_{ij} \vee a_{ij}^{n} = \frac{|Ai(j) - Aj(i)|}{SS} = \frac{|Ai(j) - Aj(i)|}{((Ai(j)_{max.} - Ai(j)_{min.})/8)} + 1 \in [0; \dots ; 8] + 1, M1.9, \quad (2)$$

где a_{ij} – условно объективная матричная оценка, освобождённая от субъективных суждений экспертов в классификаторе типа AHPDD-M1.N, для повышения точности измерений рекомендуется округлять до десятитысячных или стотысячных **(всегда выставляется в ячейку с ориентацией на большую величину в паре Ai(j), а обратная оценка вычисляется по стандартному правилу в МАИ: $1/a_{ij}$!)**, баллы;

a_{ij}^{n} – субъективная матричная оценка, выраженная при помощи экспертного суждения – **n**, в классификаторах типа AHPMS(AM)-M1.N и FAHPMS-M1.N, для повышения точности измерений рекомендуется округлять до десятитысячных или стотысячных **(всегда выставляется в ячейку с ориентацией на большую величину в паре Ai(j), а обратная оценка вычисляется по стандартному правилу в МАИ: $1/a_{ij}^{n}$!)**, баллы;

$\vee$ – операция дизъюнкция (действие – или) из математической логики, которая позволяет по формуле 1 и 2 вычислить a_{ij} или a_{ij}^{n} при наличии разных условий измерения для разных классификаторов первого поколения МАИ;

Ai(j) и Aj(i) – объекты матрицы парных сравнений, измеряемые в каких-либо единых единицах измерения при помощи каких-либо единых или смежных измерителей, ед. изм.;

SS – **Step of the Scale –** это расчётный шаг шкалы, для повышения точности измерений рекомендуется его округлять до десятитысячных или стотысячных, баллы;

$Ai(j)_{max.}$ и $Ai(j)_{min.}$ – максимальное и минимальное измерение объекта матрицы парных сравнений из числа её объектов Ai(j) в каких-либо единых единицах измерения при помощи каких-либо единых или смежных измерителей, баллы;

8 и 9 – очень сильное и абсолютное предпочтение по шкале Т. Саати, баллы;

+1 – необходимое действие для комбинаций M1.9 чтобы избежать грубые ошибки измерений и получения возможности корректного вычисления показателя согласованности матричных оценок – ОС при соблюдении определённых условий в модифицированном исполнении МАИ;

M1.1-4, M1.5-8 и M1.9 – сокращённые название классификаторов для вариантов комбинаций МАИ первого поколения модификаций (см. табл. 3), принадлежащих «∈» целочисленной шкале [1;…;9] и дробночисленной [1;…;9] в формуле 1, дробночисленной [0;…;8]+1 в формуле 2.

Забегая вперёд, следует отметить, что a_{ij}^{n} вычисляется по формуле 1 или 2, пока, на данном этапе исследования, только для классификаторов AHPMS(AM)-M1.N и FAHPMS-M1.N (см. далее по тексту статьи)! При этом эксперты работают только с нечёткими или чёткими искусственного характера измерителями и измерениями объектов матрицы. В самой матрице они не работают. Предоставляют только данные для этой работы. Поэтому в каждой ячейки и будут отличаться матричные оценки a_{ij}^{n}. **Для классификатора AHPDD-M1.N по формуле 1 и 2 принимается обозначение a_{ij}.**

Что касается классификатора AHPMS-M1.N из ист. [17, 18], то он применяется в том случае когда в силу каких-то причин или по чьей-то воле (пожеланию) объекты матрицы все, почти все, некоторые или некоторый не привязаны к единым измерителям и измерениям искусственной, естественной, детерменированной или нечёткой природы. В таких случаях нет возможности применять формулы 1 и 2, а эксперты работают в ячейках матриц по стандартному правилу МАИ.

Базисом для формулы 1 и 2 используется порядковая 9-балльная шкала Т. Саати, **которая вполне обоснована и зарекомендовала себя в разных областях науки за последние 40 лет.** Шкала минимум может быть принята не «1», а «0» для более точных (тонких) измерений $a_{ij} \vee a_{ij}^{n}$. Шкала максимум принимается 9 баллов. Внутри интервальные значения с учётом и без учёта применения функции желательности Е. Харрингтона, при наличии разных условий измерения в МАИ, но так или иначе дробные значения до одного, двух или трёх и более знаков после запятой.

В результате использования формулы 1 и 2 находится числовая отметка для матричной оценки по целочисленной [1; …;9] и дробночисленной модифицированной шкале Т. Саати в диапазоне [1; …;9] или [0; …;8]+1 для более точных измерений.

Для корректного использования формулы 1(2) и точного вычисления матричных оценок, др. промежуточных действий для расчёта собственных и в конечном счёте результирующих векторов приоритетов, для методики выбора эффективных проектов и МАИ, следует выполнять несколько обязательных правил.

Первое правило для использования формулы 1 и 2. Все объекты матрицы парных сравнений должны быть привязаны к единым или смежным измерителям и к единым измерениям в чётком («жёстко» детерминированные данные) или нечётком выражении, условно искусственного или условно естественного характера! Если в матрице присутствуют объекты, которые не соответствуют указанному правилу, то их следует: постараться измерить в единых единицах измерения при помощи каких-либо единых или смежных измерителей; применить другие единые или смежные единицы измерения, пригодные для всех объектов матрицы парных сравнений; в крайнем случае заменить на смежный объект или вовсе исключить из матрицы. **Если указанное правило не соблюдается, то эксперт (-ты) будут вынуждены использовать классификаторы AHP-M0.0(N) или AHPMS-M1.N (см. табл. 4)! При этом дробночисленные шкалы [1; …;9] и [0; …;8]+1 вполне могут стать альтернативой целочисленной шкале [1; …;9]. Просто эксперты будут реализовывать оценивание традиционно – попарно в ячейках матрицы, как завещал Т. Саати.**

Второе правило для использования формулы 1. В случае применения целочисленной шкалы [1; …;9] все значения, вычисленные по формуле 1, округляются по правилам математики до целых чисел, но если соблюдается условие $(a_{ij} \vee a_{ij}^{n}) < 1$, то всегда до единицы. Для дробночисленной шкалы [1; …;9] при обнаружении условия $(a_{ij} \vee a_{ij}^{n}) < 1$ округление делается всегда до единицы.

Для решения проблем использования фундаментальной шкалы Т. Саати в форме разных модификаций для повышения степени универсальности применения МАИ в методике выбора эффективных проектов и др. областях науки за счёт повышения точности измерений, примем в контексте указанных решений дополнительные условия: $Ai = Aj \Rightarrow a_{ij} \vee a_{ij}^{n} = 0 \vee 1$. Первое условие для всех диагональных a_{ij}^{d} (**d – diagonal**): $A1 = A1; A2 = A2; \dots; A_i^d = A_j^d$. Второе условие для всех остальных не диагональных a_{ij}^{nd}**(nd – not diagonal)**: $A1 = A2; \dots; A_i^{nd} = A_j^{nd}$. Причём с учётом первого условия может быть принято $Ai(j) = Aj(i) \Rightarrow a_{ij}^{d} = 0$, а со вторым $Ai(j) = Aj(i) \Rightarrow a_{ij}^{nd} = 1$, допустима и обратная ситуация, а может быть принято $a_{ij}^{d} = 0$ и $a_{ij}^{nd} = 0$ или $a_{ij}^{d} = 1$ и $a_{ij}^{nd} = 1$. Все эти разные комбинации могут быть интегрированы в целочисленную [1; …;9] и дробночисленную шкалу [1; …;9], [0; …;8]+1. При указанных условиях может быть 9 разных комбинаций, в каждой из которых может быть 4 классификатора, образующих 36 (9×4) разных вариантов измерений в МАИ, которые могут применяться на практике в зависимости от разных условий, при наличии разной степени определённости или неопределённости данных и решения разных поставленных задач в исследовании. **Определим принадлежность этих новых 36 классификаторов, входящих в 9 разных комбинаций к первому поколению модификаций МАИ**. Для наглядности представим эти комбинации в форме таблицы 3. **Именно в этих 9 комбинациях можно найти решение проблемы четыре и не только!**

Комбинации целочисленной шкалы [0; …;9] специально не рассматривается автором статьи, так как разные сочетания «0» и «1» для первого a_{ij}^{d} и второго a_{ij}^{nd} условия приведут к серьёзным ошибкам и всевозможным искажениям измерений в МАИ. Из M1.9 исключены комбинации типа: $a_{ij}^{d} = 1$ и $a_{ij}^{nd} = 1$; $a_{ij}^{d} = 1$ и $a_{ij}^{nd} = 0$; $a_{ij}^{d} = 0$ и $a_{ij}^{nd} = 1$. Потому что эти комбинации при реализации арифметического действия +1 согласно формуле 2 тоже дадут серьёзные ошибки и всевозможные искажения измерений в исследовании.

Также следует внести изменение и дополнение в характеристику фундаментальной шкалы из табл. 1, её модификации в дробночисленную шкалу [0;…;8]+1 для M1.9, где $a_{ij}^{d} = 0 + 1 = 1$ и $a_{ij}^{nd} = 0 + 1 = 1$ из табл. 3. Изменить определение для степени предпочтения «1 – Отсутствие предпочтения» следующим образом: 1 – Очень слабое (очень лёгкое) предпочтение. Дополнить шкалу новой степенью предпочтения: 0 – Отсутствие предпочтения. **Арифметическое действие «+1» необходимо в формуле 2 для получения корректных обратно симметричных матричных оценок $1/a_{ij} \vee 1/a_{ij}^{n}$, а «8» для возможности корректного вычисления показателя «ОС» (коэффициента отношения согласованности матричных оценок), где будет соблюдаться условие верхней границы шкалы МАИ: 8+1=9!**

Продолжим пример с объектами «10» и «10,4» из общего числового ряда «10; 10,4; 12; 31; 32; 37», при сравнении которых по формуле 1 и 2 получилось:

Таблица 3

Варианты комбинаций с учётом выполнения двух условий при $\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{d} = 0 \vee 1$ и $a_{ij}^{nd} = 0 \vee 1$ в МАИ первого поколения модификаций для методики выбора эффективных проектов и др. областей науки*

Варианты шкал оценивания в МАИ первого поколения	№ п/п	Первое условие – диагональные оценки (d – diagonal) a_{ij}^{d}, баллы	Второе условие – не диагональные оценки (nd – not diagonal) a_{ij}^{nd}, баллы	Классификаторы для вариантов комбинаций МАИ первого поколения модификаций
Целочисленная $[1; \ldots; 9]$ только 8 основных интервалов измерения	1	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{d} = 1$	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{nd} = 1$	AHPMS-M1.1; AHPMS(AM)-M1.1; FAHPMS-M1.1;AHPDD-M1.1
	2	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{d} = 0$	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{nd} = 0$	AHPMS-M1.2; AHPMS(AM)-M1.2; FAHPMS-M1.2; AHPDD-M1.2
	3	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{d} = 1$	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{nd} = 0$	AHPMS-M1.3; AHPMS(AM)-M1.3; FAHPMS-M1.3; AHPDD-M1.3
	4	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{d} = 0$	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{nd} = 1$	AHPMS-M1.4; AHPMS(AM)-M1.4; FAHPMS-M1.4; AHPDD-M1.4
Дробночисленная $[1; \ldots; 9]$ в 8 основных интервалах измерения	5	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{d} = 1$	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{nd} = 1$	AHPMS-M1.5; AHPMS(AM)-M1.5; FAHPMS-M1.5; AHPDD-M1.5
	6	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{d} = 0$	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{nd} = 0$	AHPMS-M1.6; AHPMS(AM)-M1.6; FAHPMS-M1.6; AHPDD-M1.6
	7	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{d} = 1$	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{nd} = 0$	AHPMS-M1.7; AHPMS(AM)-M1.7; FAHPMS-M1.7; AHPDD-M1.7
	8	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{d} = 0$	$\mathrm{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{nd} = 1$	AHPMS-M1.8; AHPMS(AM)-M1.8; FAHPMS-M1.8; AHPDD-M1.8
Дробночисленная $[0; \ldots; 8] + 1$ в 8 основных интервалах измерения	**9**	$\mathbf{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow \mathbf{a_{ij}^{d} = 0 + 1 = 1}$**	$\mathbf{Ai(j) = Aj(i)} \Rightarrow \mathbf{a_{ij}^{nd} = 0 + 1 = 1}$**	**AHPMS-M1.9; AHPMS(AM)-M1.9; FAHPMS-M1.9; AHPDD-M1.9**
		Эталонная комбинация в первом поколении модификаций МАИ		

***В границах иерархии могут применяться разные классификаторы в зависимости от характера, в какой-то степени имеющихся или вовсе не имеющихся измерений и измерителей объектов в матрицах парных сравнений.**

****Действие +1 необходимо для приведения матричных оценок a_{ij}^{d} и a_{ij}^{nd} в соответствие с $a_{ij} \vee a_{ij}^{n}$ из формулы 1.**

1. Первая формула. $a_{ij} \vee a_{ij}^{n} = \frac{|10{,}4-10|}{((37-10)/9)} = 0{,}1333$ баллов, тогда обратная оценка будет: $1/a_{ij} \vee 1/a_{ij}^{n} = 1/0{,}1333 = 7{,}5019$ баллов. Это полный алогизм, так как для получения корректных значений векторных величин в МАИ всегда должно выполняться неравенство типа $(a_{ij} \vee a_{ij}^{n}) > (1/a_{ij} \vee 1/a_{ij}^{n})$! Поэтому следует придерживаться второго правила и округлить величину 0,1333 балла до 1 балла. При этом следует заметить, что у всех $a_{ij} \vee a_{ij}^{n}$ которые попадут в диапазон измерения [0;…;1] получится одинаковая степень предпочтения. При таких ситуациях невозможно будет замерить самые тонкие отличия объектов. Поэтому пока без экспериментальных данных утверждаем, что формула 1 по точности уступает формуле 2, но гораздо точнее, чем классическое исполнение МАИ в целочисленной шкальной интерпретации, даже через формулу 1.

2. Вторая формула $a_{ij} \vee a_{ij}^{n} = \frac{|10{,}4-10|}{((37-10)/8)} + 1 = 1{,}1185$ балла, а $1/a_{ij} \vee 1/a_{ij}^{n} = \frac{1}{1{,}1185} = 8{,}4388$. Таким образом, неравенство $(a_{ij} \vee a_{ij}^{n}) > (1/a_{ij} \vee 1/a_{ij}^{n})$ выполнено. **При этом действие +1 согласно формуле 2 должно применяться ко всем $a_{ij} \vee a_{ij}^{n}$ в границах матрицы для указанной комбинации M1.9, чтобы не допустить искажений в измерениях и возможности корректного**

вычисления показателя ОС! Обратные оценки $1/a_{ij} \vee 1/a_{ij}^{n}$ вычисляются после применения формулы 2. Пока без экспериментальных данных предположительно утверждаем классификатор M1.9 в качестве эталона измерений в первом поколении модификации МАИ. Именно эта модификация позволит максимально точно и тонко измерить различия объектов в матрице парных сравнений и не нарушить принципа транзитивной логики.

Ещё раз отметим. В качестве базы для модификации МАИ в первом поколении принята 9-балльная шкала Т. Саати [1; …;9], так как именно этой шкалы в течение всей своей научной жизни придерживался сам Т. Саати, почти все исследователи и пользователи МАИ за последние 40 лет.

Произведём описательный анализ классификаторов первого поколения из таблицы 3 и классификаторов нулевого поколения AHP-M0.0(N) в форме таблицы 4.

Дополним таблицу 4 тем, что первая цифра после символа «M» **(Modification)** обозначает принадлежность классификатора к нулевому «0» или первому «1» поколению модификации МАИ. Второе поколение модификаций, которое будет существенно отличаться от первого, обозначим цифрой «2» (будет описано в др. статье автора). Вторая цифра после символа «M» обозначает порядковый номер модификации **«N»**. Следует заметить, что целочисленная, дробночисленная шкала [1; …;9] и дробночисленная шкала [0; …;8]+1 содержат восемь целочисленных интервалов измерения: 1-2; 2-3; 3-4; 4-5; 5-6; 6-7; 7-8; 8-9. Также оба варианта дробночисленных шкал в каждом интервале измерения содержат бесконечное множество измерений, выраженных в десятых, сотых, тысячных и т. д. в границах предложенной вербально-числовой шкалы Е. Харрингтона.

Отдельно следует прокомментировать классификатор нулевого поколения AHP-M0.N из таблицы 4. Где через N будем обозначать порядковый номер уже известных в науке шкал для классического исполнения МАИ (см. табл. 1 и 2, см. источник [14, с. 53-63]), а нулём будем обозначать первоначальное состояние МАИ Т. Саати – AHP-M0.0. При необходимости, если применить все 9 комбинаций из таблицы 3 к указанным 9 шкалам в табл. 2, то можно получить 81 разную комбинацию для нулевого поколения, в каждой из которых можно применить 4 варианта классификаторов из табл. 3 и 4, итого 324 варианта измерений уже для первого поколения в МАИ. При этом в самом первоначальном классификаторе AHP-M0.0 Т. Саати предусмотрен потенциал использования ещё 26 типов шкал [14, с. 56], кроме обычной целочисленной 9-балльной. Тогда при 9 комбинациях для нулевого поколения можно предусмотреть 234 модификации, а с учётом 4-х вариаций для первого поколения 936 модификаций. Однако автор данной статьи пока не видит какого-либо теоретического и практического смысла и необходимости в этих комбинациях нулевого и первого поколения (81 и 234; 324 и 936) в сравнении с предложенными комбинациями первого поколения (36) в табл. 3 и 4 на базе целочисленной 9-балльной шкалы Т. Саати, исходя из описанных аргументов и характеристик.

Даже для разработки модификаций измерений для МАИ второго поколения в этих комбинациях (81 и 324) тоже нет смысла, так как по убеждению автора следует универсализировать шкалу без привязки к единым границам и интервалам измерения (шкалу следует определять на основании измерений объектов в матрице, для каждой матрицы она будет уникальной в своём роде) или нормировать все измерения объектов матриц и иерархии в девятеричную или десятеричную систему для получения условно идеальных матричных оценок и идеальной матрицы, условно идеальных дальнейших промежуточных и конечных векторных вычислений с применением проверочного значения ОС=0. Эти решения, отличающиеся очередной научной новизной не только для экономики и управления, математики, но и для др. областей науки, будут изложены в следующих статьях автора.

Ещё одно примечание. В зависимости от содержания указанных характеристик в таблице 4 и/или предпочтений пользователей МАИ в одной иерархии могут использоваться условно любые варианты из 9 комбинаций, приведенных в таблице 3. Но при этом, автор статьи настоятельно рекомендует использовать дробночисленную шкалу $[0; \ldots; 8] + 1$, где соблюдаются условия $\mathrm{Ai(j)} = \mathrm{Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{d} = 0 + 1 = 1$ и $\mathrm{Ai(j)} = \mathrm{Aj(i)} \Rightarrow a_{ij}^{nd} = 0 + 1 = 1$ для **эталонных** классификаторов – AHPMS(AM)-M1.9, FAHPMS-M1.9 и AHPDD-M1.9. Именно эта комбинация отличается от остальных высокой точностью измерений матричных оценок, промежуточных нормированных оценок, собственных и результирующих векторов приоритетов, для методики выбора эффективных проектов через МАИ и для др. областей науки. **Таким образом решена проблема четыре.**

В качестве доказательства научной состоятельности решений проблем 1–5 служат полученные автором экспериментальные данные, на основании которых опытным путём получен указанный эталон измерений в виде девятой комбинации из числа всех комбинаций первого поколения модификаций для методики и др. областей знаний через МАИ. Результаты эксперимента будут представлены в следующей статье автора, так как их объём более 70 000 знаков.

Отдельно следует сделать **ряд пояснений** о том, что формула 1 и 2 может быть использована для вычисления $a_{ij} \vee a_{ij}^{n}$.

1. Если каждый объект матрицы содержит в себе только один замер в форме чёткого (пустого)

Таблица 4

Характеристики классификаторов нулевого и первого поколения модификаций МАИ для методики выбора эффективных проектов и др. областей науки

Характеристики	Классификаторы нулевого и девяти модификаций первого поколения МАИ				
Классификатор	AHP-M0.0(N)	AHPMS-M1.N	AHPMS(AM)-M1.N	FAHPMS-M1.N	AHPDD-M1.N
Расшифровка классификаторов на английском и русском языке	Analytic Hierarchy Process – Modification / Аналитическая иерархия нулевого поколения и её модификации	Analytic Hierarchy Process and Mathematical Statistics – Modification / аналитическая иерархия в модификации с математической статистикой [17, 18]	Analytic Hierarchy Process and Mathematical Statistics (Artificial Measurement) – Modification / аналитическая иерархия в модификации с математической статистикой и искусственными измерениями	Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Mathematical Statistics – Modification / аналитическая иерархия в модификации с математической статистикой и нечёткими данными [17, 18]	Analytic Hierarchy Process and Determine Data – Modification / аналитическая иерархия в модификации с детерминированными данными
Наличие привязки к единым измерениям через единые или смежные измерители	Как правило нет. Но могут быть и частичные привязки к измерителям и измерениям, но не обязательно к единым. Или эти привязки могут быть в полном составе однородно и/или не однородно измеренных объектов, но их не учитывают в исследованиях МАИ по каким-либо причинам		Да, в виде искусственных измерений объектов матрицы и иерархии через единые и/или смежные измерители	Да, в виде нечётких измерений объектов матрицы и иерархии через единые и/или смежные измерители	Да, в виде «жёстко» определённых измерений объектов матрицы и иерархии через единые и/или смежные измерители
Проверка согласованности матричных оценок в границах одной матрицы	Применяется традиционный показатель CR – Consistency Ratio / Коэффициент Согласованности (Отношения) ОС. Очень ограниченное применение и только при соблюдении описанных условий в данной и др. статьях автора [17, 18]				
	Крайне сомнительно использовать показатель ОС, так как объекты матрицы, как правило, не привязаны к каким-либо единым измерителям и измерениям или привязаны не все		ОС будет вполне уместен для проверки только экспертных матричных оценок, но не агрегированных		Это единственный классификатор, для которого показатель ОС будет полностью правомерен
Участие экспертов в исследовании	Один эксперт или группа, работают в поле матрицы	Группа экспертов с учётом их весовых категорий [17, 18], работают в поле матрицы	Эксперты работают только с искусственными измерителями и измерениями объектов матрицы. В самой матрице они не работают	Эксперты работают только с нечёткими измерителями и измерениями объектов матрицы. В самой матрице они не работают	Участие экспертов полностью исключено

Окончание табл. 4

Характеристики	Классификаторы нулевого и девяти модификаций первого поколения МАИ			
Проверка согласованности матричных оценок, выставленных группой (-ми) экспертов	Нет	Да, при помощи разных методов математической статистики в разных вариациях [17, 18]		Нет необходимости это делать, так как все объекты матрицы, но необязательно всей иерархии привязаны к жёстко определённым измерениям через единые или смежные измерители
Наличие субъективного или объективного фактора влияния на результаты исследования	Очень сильно выраженный фактор субъективизма, даже при работе группы экспертов, который нет возможности измерить, при этом показатель ОС не является в этом случае верным подходом	Фактор субъективизма присутствует, а замерить его уровень можно при помощи методов математической статистики		Объективный статус результатов измерений в исследовании, но при этом данные не должны вызывать сомнений, а должны отличаться высокой степенью достоверности источников их получения
Рекомендации для применения классификаторов в исследованиях	Для матриц в иерархии, но не обязательно для всех, объектам которых больше всего присуща полная неопределённость измерений и измерителей. Только в AHPMS(AM)-M1.N у экспертов есть возможность искусственно измерить (в единых единицах измерения) эти объекты через единые, смежные или разные измерители. Тогда определённость измерений будет очень низкой		Для матриц в иерархии, но не обязательно для всех, объектам, которым больше всего присуща только нечёткая или нечёткая в сочетании с чёткой (пустые множества) определённость измерений и измерителей	Для матриц в иерархии, но не обязательно для всех, всем объектам которых присуща полная определённость измерений и измерителей

множества ($Ai(j) = \emptyset = A_a^{i(j)}$, где a – замер или измерение, подходит только для классификаторов AHPDD-M1.N), то субъективный фактор в форме экспертного суждения целесообразно исключить, так как он будет только снижать точность вычисления собственных векторов приоритетов в матрицах иерархий, также будет снижать качество исследования всего иерархического синтеза для определения результирующих векторов приоритетов. Такие матричные оценки, полученные условно объективным путём, предлагается обозначать просто как a_{ij} и $1/a_{ij}$. Причём к этим замерам «a_{ij} и $1/a_{ij}$» должно быть высокое доверие со стороны заказчиков и др. заинтересованных участников исследования. В противном случае полученные результаты по формуле 1 и 2 не будут достоверными.

Исключением будут являться те случаи, когда нет полной уверенности в точности всех или некоторых замеров $A_a^{i(j)}$. Тогда эксперты могут быть привлечены для определения этих замеров исходя из их опытно-интуитивных суждений в диапазоне $\left(-\infty;\ A_a^{i(j)};+\infty\right)$. Несмотря на то, что задан неограниченный интервал поиска измерений, как правило, эксперты будут определять их достаточно близко к значению $A_a^{i(j)}$. При указанном исключении принимается обозначение матричной оценки a_{ij}^n для формулы 1 и 2. В этом случае рекомендуется использовать классификаторы AHPMS(AM)-M1.N или FAHPMS-M1.N, при этом эксперт должен задать по одному измерению «а» для каждого сомнительного объекта Ai(j) из матрицы в указанном диапазоне суждений или принять нечёткий вывод в форме обобщения. В классификаторе FAHPMS-M1.N тоже могут исследоваться объекты $\mathrm{Ai(j)} = \emptyset = A_a^{i(j)}$ на ряду с нечётко заданными [18]. Напомним, что эксперты в описанных случаях пункта 1 не работают в поле матрицы, а только задают замеры объектам для возможности использования формулы 1 и 2.

2. Если хотя бы один объект матрицы содержит в себе более одного измерения в форме треугольных $(\mathrm{Ai(j)} = \{A_a^{i(j)}; A_b^{i(j)}\}$ или $\mathrm{Ai(j)} = \{A_a^{i(j)}; A_b^{i(j)}; A_c^{i(j)}\})$, S- и Z-образных $(\mathrm{Ai(j)} = \{A_a^{i(j)}; A_b^{i(j)}\}$, трапецеидальных $(\mathrm{Ai(j)} = \{A_a^{i(j)}; A_b^{i(j)}; A_c^{i(j)}; A_d^{i(j)}\})$ или иных форм нечёткочисловых множеств, то прежде чем использовать формулу 1 или 2, эксперты должны воспользоваться правилами для выбора одного чёткого числа в границах нечёткого множества или конвертирования нечётких терм в одно чёткое число для каждого нечёткого объекта Ai(j) матрицы парных сравнений (см. источник [18]). Такое возможно для классификатора FAHPMS-M1.N. В процессе написания статьи автор параллельно работает над расширением этих правил. Например, эксперты могут определить ближайшие числовые значения за границами нечёткого или пустого множества (см. пояснение 1). В данном пояснении матричные оценки отличаются субъективизмом, источником которого являются эксперты, именно поэтому их для отличия в формуле 1 и 2 следует обозначать как a_{ij}^n и $1/a_{ij}^n$. Соответственно, с определённой степенью субъективизма будут вычислены локальные и результирующие вектора. Уровень субъективизма экспертных суждений можно будет также измерить при помощи критериев математической статистики [17, 18].

3. При попарном оценивании объектов в матрице для корректного использования формулы 1 и 2 могут встречаться нестандартные случаи:

1) когда все или некоторые измерения объектов матрицы представлены со знаком «минус» и меньшее из общего числового ряда действительно является самой меньшей (худшей), то для корректного использования формулы 1 и 2 следует применять операцию суммирования каждого объекта Ai(j) с самой меньшей величиной из числового ряда в модульном исполнении, плюс один: $|-\mathrm{Ai(j)}_{\min}| + 1$. Например, таблица 5;

2) когда некоторые измерения объектов матрицы представлены со знаком «минус» и меньшее из общего числового ряда действительно является самой большей (лучшей) величиной, то для корректного использования формулы 1 и 2 следует применять операцию вычитания для каждого объекта Ai(j) с самой большей величиной из числового ряда, минус один: $\mathrm{Ai(j)} - \mathrm{Ai(j)}_{\max} - 1$. Например, таблица 6. При этом, если все объекты матрицы измерены со знаком «минус» и меньшее из них тоже действительно является самой большей (лучшей) величиной, то все (–Ai(j)) следует просто умножить на минус один, как это сделано в таблицы 6 с небольшим отличием в аналитической записи данных: $\left(-\mathrm{Ai(j)}\right) \times (-1)$;

3) когда все измерения объектов матрицы представлены только со знаком «минус» или только со знаком «плюс», или «плюс-минус» с разными полюсами «больший» или «меньший», при этом,

Таблица 5

Пример решения первого нестандартного случая для корректного использования формулы 1(2)

Операции	Вычисления					
Объекты матрицы	A1(1)	A2(2)	A3(3)	A4(4)	A5(5)	A6(6)
Поиск значения $\mathrm{Ai(j)}_{\min}$	–6	–8,1	0	6	4	**–9**
Суммирование $\mathrm{Ai(j)} + |-\mathrm{Ai(j)}_{\min}| + 1$	4	1,9	10	16	14	1

Таблица 6

Пример решения второго нестандартного случая для корректного использования формулы 1(2)

Операции	Вычисления					
Объекты матрицы	A1(1)	A2(2)	A3(3)	A4(4)	A5(5)	A6(6)
Поиск значения $\mathrm{Ai(j)}_{\max}$	–6	–8,1	0	**6**	4	–9
Вычитание $\mathrm{Ai(j)} - \mathrm{Ai(j)}_{\max} - 1$	–13	–15,1	–7	–1	–3	–16
Нормирование $(\mathrm{Ai(j)} - \mathrm{Ai(j)}_{\max} - 1) \times (-1)$	13	15,1	7	1	3	16

есть некоторые объекты, которые имеют измерение «0», то формула 1 и 2 работает в обычном режиме для числовых рядов «плюс» и «минус» с учётом указаний для нестандартных случаев 1 и 2.

Формула 1 и 2 применяется после перевода числового ряда объектов из нестандартного в стандартный случай.

Все вычисленные a_{ij}^{n} в классификаторах типа AHPMS-M1.N, AHPMS(AM)-M1.N и FAHPMS-M1.N на базе определённых экспертами измерений и измерителей объектов Ai(j), подвергаются операции агрегирования по формуле [17]:

$$a_{ij}^{ag} \vee 1/a_{ij}^{ag} = \begin{cases} \frac{\sum_{n=1}^{m} a_{ij}^{n} v_n}{\sum_{n=1}^{m} v_n} \\ \frac{\sum_{n=1}^{m} \left(1/a_{ij}^{n}\right) v_n}{\sum_{n=1}^{m} v_n}, \end{cases} \quad (3)$$

где $a_{ij}^{ag} \vee 1/a_{ij}^{ag}$– агрегированная оценка, принадлежащего 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 (см. ист. [17, 18])), баллы.

Указанное действие позволит вычислить не только $a_{ij}^{ag} \vee 1/a_{ij}^{ag}$, но и через $a_{ij}^{ag} \vee 1/a_{ij}^{ag}$ вычислить агрегированные значения локальных – w_{Ai}^{ag} и результирующих векторов – W_{Ai}^{ag}, тем самым завершить исследование. Указанные векторные оценки можно вычислить при помощи формул 2, 3, 6 и 7 из источника [17].

Проблему пять можно решить в том случае, если использовать формулу 2 и все сопровождающие их действия для комбинаций AHPMS(AM)-M1.N, FAHPMS-M1.N и AHPDD-M1.N. Эти действия для указанных классификаторов помогут получить как минимум четыре безошибочных транзитивных цепей. Примеры этих транзитивных цепей будут описаны в эксперименте, который будет представлен в другой статье автора. Тогда показатель ОС будет вторичен и необязателен, но при этом его можно использовать в полной мере для AHPDD-M1.N. Ограничения и возможности использования показателя ОС для указанных и др. классификаторов отображены в таблице 4.

Автор данной статьи искренне считает, что представленные модификации первого поколения удовлетворят пользователей МАИ в части точности измерений, удобства и простаты применения, ясности алгоритма использования, в том числе ясности построения транзитивных цепей.

Перспективы применения модификаций МАИ первого поколения на базе дробночисленных шкал $[1; \ldots; 9]$ и $[0; \ldots; 8] + 1$ в методике выбора эффективных проектов и других областях науки

В этом разделе статьи, автор хотел бы описать перспективы применения дробночисленных шкал $[1; \ldots; 9]$ и $[0; \ldots; 8] + 1$ первого и возможных последующих поколений модификаций МАИ не только для методики выбора эффективных проектов, но и для др. областей науки.

С учётом дробночисленных шкал можно будет использовать условно неограниченное число уровней и объектов в иерархии для решения **«Суперзадач» (Super Tasks)** в методике выбора эффективных проектов и не только. При использовании дробночисленных шкал максимальное количество таких объектов в границах матрицы парных сравнений при соблюдении определённых условий может достигать следующих значений: 80 при разделение шага шкалы в 1 балл на десятые баллы – суперзадача 1 ранга сложности; 800 при разделение шага шкалы в 1 балл на сотые баллы – суперзадача 2 ранга сложности; 8000 при разделение шага шкалы в 1 балл на тысячные баллы – суперзадача 3 ранга сложности; далее, при необходимости максимум достигается пропорционально делению шага шкалы в 1 балл на десятитысячные, стотысячные и т. д. соразмерно решению поставленной суперзадачи высшего ранга сложности. Соответственно в зависимости от принятого максимального количества указанных объектов размерности матриц будут следующие:

для 80 объектов 80×80;
для 800 объектов 800×800;
для 8000 объектов 8000×8000;
для 8000… объектов $8000 \ldots \times 8000 \ldots$.

В результате получаем ещё одну новую научную категорию для методики выбора эффективных проектов и МАИ – «**Суперматрица» (Super Matrix)**. Таким образом, мощность МАИ и методики выбора эффективных проектов возрастёт **в 10, 100, 1000 и 1000… раз!**

А если в матрице парных сравнений попадаются равночисленные объекты за исключением диагональных пар, то указанный максимум можно увеличить на 1 объект для каждой не диагональной пары – Ai(j)=Aj(i). При этом в границах одной матрицы могут встречаться 3 численно равно измеренных объекта, которые образуют 3 пары и соответственно максимум можно увеличить на 3 объекта. Далее 4 объекта образуют 6 пар, а максимум можно увеличить на 6 объектов и т. д. Таким образом, прослеживается прогрессивная закономерность треугольных чисел. Запишем аналитический вид этой закономерности: $T_n = 0.5n(n+1)$, где n – номер треугольного числа, выражающий количество равно-численных объектов в границах матрицы (1, 2, 3, …, i(j)). Следование указанной закономерности позволит незначительно, но всё же превысить границы рассмотренных максимумов размерностей матриц, что будет гарантом соблюдения транзитивной логики для решения суперзадач на базе МАИ.

Суперзадачи 2, 3 и высших рангов на базе МАИ следует решать исключительно без учёта человеческого фактора, так как ни одна человеческая психика не сможет справиться с решением такой задачи многокритериального выбора и оценивания, только объективные технологии искусственного интеллекта смогут решить задачи такого уровня сложности. Поэтому на данном этапе нашего исследования для решения суперзадач разного ранга сложности рекомендуем использовать классификаторы первого поколения AHPDD-M1.N и FAHPMS-M1.N. При этом в FAHPMS-M1.N следует все нечёткие числа разных форм и типов конвертировать в чёткие (пустые множества).

Скорее всего тенденция к решению указанных суперзадач в методике выбора эффективных проектов появится в ближайшем будущем. Что касается дня сегодняшнего, то максимум 80 объектов в границах матрицы будет вполне достаточно для финансовой практики даже с привлечением экспертов. Автор не уверен полностью в этом утверждении, так как научно-гуманитарный и научно-технический прогресс сегодня развивается как минимум в геометрической прогрессии и сложно предсказать, что будет происходить в краткосрочной, среднесрочной и уже не говоря о долгосрочной перспективе. Но при помощи модификаций МАИ – AHPDD-M1.N и FAHPMS-M1.N можно уже сегодня решать суперзадачи разного ранга сложности в разных областях науки, в том числе и в экономике, финансах и менеджменте.

При решении суперзадачи любого ранга сложности для корректного вычисления показателя ОС (при соблюдении всех описанных в статье и источниках [17, 18] положений) в модификациях AHPDD-M1.N и FAHPMS-M1.N, значение случайной согласованности **(СС / RI – случайная согласованность / Random Index)** следует принять в размере 1,59 или 1,6, или 1,595, если размерность матрицы 15 и более (табл. 7) (для доказательства требуются эксперименты). Также важно соблюдать условие привязки всех объектов суперматриц и/или **«Супериерархий» (Super Hierarchy)** к любым, но единым в границах этих матриц измерениям и/или любым, но единым в границах тех же матриц измерителям, только в чёткой проекции, а нечётко-множественные проекции нужно трансформировать в чёткие (некоторые операции такой трансформации описаны в статье [18] и будут ещё раскрыты в будущих публикациях автора). Эти действия будут вполне справедливы в отношении указанных расширенных возможностей показателя ОС, учитывая графики функций «зависимость случайного индекса согласованности Y от числа сравниваемых объектов X» [12, с. 19] и «зависимость значений последовательных разностей случайного индекса согласованности от числа сравниваемых объектов» [12, с. 20], полученных Т. Саати на основании исследований случайных согласованностей матриц в Национальной лаборатории Окриджа и школе Уортона [14, с. 25].

Конечно, Т. Саати не рекомендует использовать более 7 ± 9 объектов в рамках одной матрицы парных сравнений из-за ограниченности человеческой психики и сложности сохранения транзитивных принципов и получения эталонных значений показателя $OC < 0{,}1$. Однако при реализации методики выбора эффективных проектов или решения др. многокритериальных задач, в том числе и суперрангов, может появиться необходимость в оценке большого или даже колоссального количества объектов в матрицах иерархий с учётом возможности реализации методики с частичным участием или без участия человеческой психики, носителями которой являются эксперты, для минимизации или даже исключения человеческого фактора субъективности из исследования.

Суперзадачи, связанные с необходимостью обработки **«Супермассива Данных» (Super Data Array)** в форме объектов в матрице парных сравнений, привязанных к единым измерителям и измерениям, количество которых непрерывно растёт в разных проекциях и стремится к максимумам их значений, возможно будет решить только при помощи прогрессивных технологий искусственного интеллекта. При этом фактор субъективизма должен исключаться, а фактор объективности стремится к абсолюту.

Если в исследовании всё же участвуют эксперты (для всех классификаторов кроме AHPDD-

Таблица 7

Согласованность случайных матриц МАИ Т. Саати для методики выбора эффективных проектов и др. областей науки

Размерность матрицы, n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Случайная согласованность, RI [14, с. 25]	0	0	0,52	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59
Случайная согласованность, RI [12, с. 20]	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

M1.N) и принимается дробночисленная шкала $[1; \dots; 9]$ или $[0; \dots; 8] + 1$, то нежелательно превышать размеры матриц 80×80 **(только для индивидуальных матричных оценок экспертов, не для агрегированных!)**. При этом можно превысить эти размеры матриц на один объект для каждой пары $A_i^{nd} = A_j^{nd}$ согласно прогрессивной закономерности треугольных чисел. Во всех остальных случаях решения суперзадач 2, 3 и высшего ранга для получения нормального качества исследования требуются прогрессивные технологии искусственного интеллекта пока с учётом классификаторов первого поколения AHPDD-M1.5-9 и FAHPMS-M1.5-9, а затем и последующих поколений МАИ.

Ещё одна модификация МАИ искусственного свойства для методики выбора эффективных проектов и других областей науки, где нет возможности привязать объекты матриц в иерархии к единым измерениям через единые или смежные измерители

Пользователям МАИ известно, что как правило объекты матриц в иерархии не привязаны к каким-либо единым/смежным измерителям и измерениям, а выставление оценок производится только при попарном сравнении в ячейках самой матрицы. Это устаревшее, но к сожалению, укоренившееся правило более 40 лет справедливо только для классификаторов типа AHP-M0.0 – классическое исполнение МАИ Т. Саати и к AHP-M0.N (если конечно этот классификатор вообще использовался когда-либо, где-либо и кем-либо) и к новой модификации AHPMS-M1.N. Для того, чтобы преодолеть это очередное ограничение, предложено дополнить все 9 модифицированных комбинаций первого поколения МАИ ещё одним классификатором: **AHPMS(AM)-M1.N – Analytic Hierarchy Process and Mathematical Statistics (Artificial Measurement) – Modification**. Общая характеристика предложенного классификатора представлена в таблице 3 и 4.

Классификатор AHPMS(AM)-M1.N будет отличаться от остальных предложенных тем, что объекты в матрицах иерархии **искусственно или косвенно** привязываются к единым/смежным измерителям и измерениям чёткого свойства. В таких случаях объекты матрицы, которые сложно или **невозможно напрямую измерить,** будет вполне разумно измерить косвенно или искусственно. Например, возьмём следующие объекты в форме критериев оценки эффективности проектов из иерархии рисунка: инвестиционная; социальная; экологическая; степень доверия к ПСД. Объединяющим все эти объекты напрямую является лишь только их отношение к критериям оценки эффективности проектов. Таким образом, напрямую нет возможности привязать эти критерии к каким-либо абсолютным или относительным единым измерителям и измерениям. Но есть возможность косвенно или искусственно привязать эти объекты к единым измерителям и измерениям.

В качестве единых измерителей могут выступать: фундаментальная целочисленная 9-балльная шкала Т. Саати или её модифицированные дробные аналоги из таблицы 3; шкалы из источника [14, с. 56]; шкалы из таблицы 2; др. потенциально возможные универсальные шкалы, в том числе и шкала Е. Харрингтона; др. шкалы с абсолютными и относительными единицами измерения природы происхождения или закономерностей действия, или измерения др. условно, объединяющих свойства объектов матрицы парных сравнений в иерархии. А единым измерителем, например, может выступить степень важности приведённых критериев для разных заинтересованных сторон проекта, они же могут выступить и в роли экспертов. Тогда, например, им просто будет необходимо присвоить каждому критерию искусственное измерение по шкале Е. Харрингтона от 0–10 баллов даже с учётом сотых, тысячных и др. тонких различий. **При этом экспертам уже будет не нужно работать в матрицах парных сравнений, также как и в классификаторах типа FAHPMS-M1.N!**

Указанные действия не путать со шкалой попарного оценивания для получения матричных оценок в самой матрице! Также формула 1(2) и все описанные к ней характеристики, условия, правила и т. д. полностью справедливы для модификации AHPMS(AM)-M1.N.

Что касается классификатора FAHPMS-M1.N, то в нём объекты матрицы при необходимости тоже могут быть **искусственно** сформированы и привязаны к единым или смежным измерителям и единым измерениям. Но дополнительной модификации подвергся только AHPMS-M1.N, так как он вообще не подразумевает каких-либо привязок объектов к измерителям и измерениям в отличие от FAHPMS-M1.N. Наиболее подробно свойства классификатора AHPMS(AM)-M1.N будут описаны в др. статье автора помимо данных в таблице 3 и 4.

Также следует отметить полезность и перспективность использования классификатора AHPMS(AM)-M1.N наряду с FAHPMS-M1.N и AHPDD-M1.N для ещё одной методики «Разработка согласованных управленческих решений распределения чистой прибыли на предприятии» [16], которая базируется на первом фундаментальном положении (AHPMS) из методики выбора эффективных проектов. Также между этими двумя методиками есть связь, выраженная в распределении денежного потока от вершины «чистая прибыль» (см. рис. 1, уровень иерархии 3, из источника [16, с. 406]) за отчётный период по семейству иерархий:

1) через фонд потребления на проекты по: развитию производства; развитию НИОКР; развитию персонала; увеличение размера оборотных средств (см. рис. 2, уровень иерархии 3, из источника [16, с. 406]);

2) через фонд накопления на проекты: по закупке оборудования и технологий; в др. инвестиционные проекты; по погашению задолженности; в области природоохранных мероприятий (см. рис. 3, уровень иерархии 3, из источника [16, с. 406]).

Распределение самого денежного потока чистой прибыли реализуется по указанным семействам иерархии до указанных исходов третьего уровня иерархий фонда потребления и накопления через полученные локальные и результирующие вектора приоритетов в процессе реализации методики (см. табл. 7, из источника [16, с. 413]). Методика выбора эффективных проектов может быть реализована для каждого исхода по отдельности, для группы исходов или для всех исходов в единой иерархии проблемы выбора эффективных проектов.

Эту связь двух родственных методик через распределения денежного потока чистой прибыли лучше всего объяснить при помощи методов искусственных нейронных сетей, общей концепции и методологии. Автор обязательно уделит внимание этой связи в других публикациях.

Заключение

Нет смысла в заключении ещё раз резюмировать полученные научные результаты, связанные с модификацией МАИ для повышения точности измерений в методике выбора эффективных проектов и в др. областях науки, которые уже отображены в аннотации статьи. Но при этом, в завершении статьи есть смысл указать те научные направления, над которыми автору следует ещё поработать в будущем для осуществления очередного приращения знания в финансовой, математической и др. областях науки.

Отметим эти направления: описание результатов эксперимента всех девяти комбинаций для классификаторов AHPMS-M1.N, AHPMS(AM)-M1.N, FAHPMS-M1.N и AHPDD-M1.N, чтобы опытным путём найти эталонную комбинацию, позволяющую максимально точно/тонко производить измерения в МАИ для методики выбора эффективных проектов и др. областей науки, доказать её научную состоятельность (наличие результатов этого эксперимента позволили автору уже в этой статье обнародовать эталон в форме девятой комбинации); дополнительная проработка модификации МАИ искусственного свойства, где нет возможности привязать объекты матриц в иерархии к единым измерениям через единые или смежные измерители; повышение степени универсальности МАИ через расширение возможностей в процедуре конвертирования нечётких чисел разных форм в чёткие (пустые множества или детерминанты); дополнительная проработка новых научных категорий и расширение математико-статистической критериальной базы с учётом адаптационных мероприятий, касательно модификаций МАИ первого поколения; описание решений проблем свёртки локальных векторов приоритетов и процедуры их иерархического синтеза для разных по структуре и содержанию типов иерархий; описание решения проблемы «Rank Reversal»; дополнительное обоснование того, что показатель ОС является очень ограниченным в применении через экспериментальные данные; постановка научной проблемы и поиск её решения в направлении модификаций МАИ второго поколения; разработка решений в области АСУ и СППР в форме специальных программ в основу которых заложены модификации нулевого, первого и последующих поколений МАИ для разных областей науки и методики выбора эффективных проектов в том числе; разработки единых требований по формированию рабочей группы экспертов для повышения качества и эффективности использования методики выбора эффективных проектов; разработки единого алгоритма реализации методики и стандартных организационных процедур; разработка и описание новой концепции и методологии по управлению развитием промышленного предприятия по показателям сбалансированности (гармонизации) денежных потоков; мн. др. направления научного исследования.

Литература

1. Алабугин, А.А. Управление промышленным предприятием по показателям согласованности воздействий системных элементов на организационно-структурную устойчивость развития / А.А. Алабугин, Н.С. Орешкина // Экономика и предпринимательство. – 2018. – № 4 (93). – С. 196–204.

2. Баев, И.А. Управление спросом на поставку энергоресурсов в условиях развития информационно-коммуникационных технологий / И.А. Баев, И.А. Соловьева, А.П. Дзюба // Известия Уральского государственного экономического университета. – 2018. – Т. 19, № 3. – С. 111–125. DOI: 10.29141/2073-1019-201819-3-10

3. Бодрова, Е.Г. Управление запасами на основе ABC-анализа как способ повышения экономической эффективности деятельности предприятия (на примере ООО «Вендинг-Юг») / Е.Г. Бодрова, А.А. Лещукова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия «Экономика и управление». – 2018. – № 4 (40). – С. 56–65.

4. Журавлев, В.В. Совершенствование механизма устойчивого развития предприятия как инструмент повышения его конкурентоспособности в условиях кризиса / В.В. Журавлев, И.В. Согрин // Экономика и предпринимательство. – 2016. – № 3-2 (68). – С. 532–535.

5. Картвелишвили, В.М. Метод анализа иерархий: критерии и практика / В.М. Картвелишвили, Э.А. Лебедюк // Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. – 2013. – № 6 (60). – С. 97–112.

6. Коробов, В.Б. Проблемы использования метода анализа иерархий и пути их решения / В.Б. Коробов, А.Г. Тутыгин // Экономика и управление. – 2016. – № 8 (130). – С. 60–65.

7. Митихин, В.Г. К вопросу решения многокритериальных задач на основе метода анализа иерархий / В.Г. Митихин // Cloud of Science. – 2015. – Т. 2, № 4. – С. 519–529.

8. Митихин, В.Г. К вопросу анализа задач принятия решений с иерархической структурой / В.Г. Митихин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 8-2 (39). – С. 110–114.

9. Мощенко, И.Н. К выбору оценочной шкалы в методе анализа иерархий / И.Н. Мощенко, Е.В. Пирогов // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 4 (47). – С. 96.

10. Подиновская, О.В. Анализ иерархических многокритериальных задач принятия решений методами теории важности критериев / О.В. Подиновская, В.В. Подиновский // Проблемы управления. – 2014. – № 6. – С. 2–8.

11. Полушина, И.С. Организация интеграционных процессов в сельском хозяйстве Кировской области / И.С. Полушина // Научно-методический электронный журнал Концепт. – 2015. – № S11. – С. 16–20.

12. Саати, Т.Л. Об измерении неосязаемого. подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений / Т.Л. Саати // Cloud of Science. – 2015. –Т. 2, № 1. – С. 5–39.

13. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети / Т.Л. Саати; пер. с англ. О.Н. Андрейчиковой; науч. ред.: А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – 3-е изд. – М.: URSS, 2010. – 357 с.

14. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

15. Титов, В.А. К вопросу о форме свертки локальных векторов приоритетов альтернатив по частным критериям в обобщенный вектор в методе анализа иерархий / В.А. Титов, И.Г. Хайрулин // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10-9. – С. 2020–2025.

16. Шагеев, Д.А. Методика разработки согласованных управленческих решений распределения чистой прибыли на предприятии / Д.А. Шагеев, И.М. Перегримова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80, № 3 (77) – С. 392–415. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-3-392-415

17. 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

18. 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

19. Belton, V. On a Short-Coming of Saaty’s Method of Analytic Hierarchies / V. Belton, T. Gear // Omega. – 1983. – V. 11, iss. 5. – P. 228–230. DOI: 10.1016/0305-0483(83)90047-6

20. Benmouss, K. AHP-based Approach for Evaluating Ergonomic Criteria / K. Benmouss, M. Laaziri, S. Khoulji, M.L. Kerkeb, A.E. Yamami // Procedia Manufacturing. – 2019. – V. 32. – P. 856–863. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.02.294

21. Elliott, M.A. Selecting numerical scales for pairwise comparisons / M.A. Elliott // Reliability Engineering and System Safety. – 2010. – V. 95, iss. 7. – P. 750–763. DOI: 10.1016/j.ress.2010.02.013

22. Franek, J. Judgment Scales and Consistency Measure in AHP / J. Franek, A. Kresta // Procedia Economics and Finance. – 2014. – V. 12. – P. 164–173. DOI: 10.1016/S2212-5671(14)00332-3.

23. Gnanavelbabu, A. Ranking of MUDA using AHP and Fuzzy AHP algorithm / A. Gnanavelbabu, P. Arunagiri // Materials Today: Proceedings. – 2018. – V. 5, iss. 5, P. 2. – P. 13406–13412. DOI: 10.1016/j.matpr.2018.02.334

24. Harrington, E.C. The desirable function / E.C. Harrington // Industrial Quality Control. – 1965. – V. 21, № 10. – P. 494–498.

25. Ishizaka, A. Review of the main developments in the analytic hierarchy process / A. Ishizaka, A. Labib // Expert Systems with Applications. – 2011. – V. 38, iss. 11. – P. 14336–14345. DOI:10.1016/j.eswa. 2011.04.143

26. Khudyakova, T.A. Improving the efficiency of the enterprise's activity based on the implementation of the controlling system / T.A. Khudyakova, A.V. Shmidt // Proceedings of Strategic Management and its Support by Information Systems. – 2017. – P. 46–52.

27. Mackay, D.M. Psychophysics of perceived intensity: A theoretical basis for Fechner's and Stevens' laws / D.M. Mackay // Science: journal. – 1963. – V. 139. – P. 1213–1216. DOI: 10.1126/science.139. 3560.1213-a

28. Meesariganda, B.R. Mapping verbal AHP scale to numerical scale for cloud computing strategy selection / B.R. Meesariganda, A. Ishizaka // Applied Soft Computing. – 2017. – V. 53. – P. 111–118. DOI: 10.1016/j.asoc.2016.12.040

29. Saaty, T.L. Why the magic number seven plus or minus two / T.L. Saaty, M. Ozdemir // Mathematical and Computer Modelling. – 2003. – V. 38. – P. 233–244. DOI: 10.1016/S0895-7177(03)90083-5

30. Saaty, T.L. The analytic hierarchy process. – N.-Y.: McGraw Hill. – 1980. – 288 p.

31. Staddon, J.E.R. Theory of behavioral power functions / J.E.R. Staddon // Psychological Review: journal. – 1978. – V. 85. – P. 305–320. DOI: 10.1037/0033-295x.85.4.305

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

Поступила в редакцию 10 января 2020 г.

DOI: 10.14529/em200110

MODIFICATION OF AHP TO IMPROVE THE ACCURACY OF MEASUREMENTS IN THE METHOD OF EFFECTIVE PROJECTS SELECTION AND OTHER FIELDS OF SCIENCE

D.A. Shageev
International Institute of Design and Service, Chelyabinsk, Russian Federation

The author continues the series of publications in the field of development of the previously formulated (Parts 1 and 2) core and two fundamental provisions in the methodology of selecting effective projects through different solutions of AHP modification for financial and mathematical science. In the article, the author pays special attention to improving the accuracy of measurements of matrix, normalized and vector estimates for the development of AHP universal properties using the following solutions with different qualities of scientific novelty: introduction of new formulas for calculating matrix estimates with detailed instructions for their application; proposals of nine different combinations of AHP, each of them including four classifiers (AHPMS-M1.N, AHPMS(AM) – M1.N, FAHPMS-M1.N and AHPDD-M1.N) on the basis of integer and fractional 9-point scale T. Saati; description of solutions to the problems of measuring matrix estimates formed by non-standard measured elements of the matrix.

The prospects of applying modifications of AHP of the first generation are described based on fractional numeric scales, where there is a new scientific category for the methods of selection of effective projects and other fields of science: “Super Challenge”, “Super Matrix”; “Super Hierarchy”; “Super Array Data”. There is also a classifier – AHPMS(AM)-M1.N, which allows you to work with matrix elements that are indifferent to natural dimensions, but sensitive to artificial dimensions. In its turn, the classifier AHPDD-M1.N allows you to work with deterministic data and completely exclude the expert component from the study.

These solutions are developed as a result of the analysis of the fundamental and historical representation of the scale of measurement of expert judgments in AHP over the past 40 years and other properties/characteristics of AHP. In conclusion, the horizons for further research on modification of AHP of the first and second generation are defined.

Keywords: AHP, analytic hierarchy process, fuzzy sets, measurements, scales, expert assessments, projects, managerial decisions, artificial intelligence.

References

1. Alabugin A.A., Oreshkina N.S. [Management of an industrial enterprise by indicators of consistency of the effects of system elements on organizational and structural stability of development]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. [Economy and entrepreneurship], 2018, no. 4, iss. 93, pp. 196–204. (in Russ.)

2. Baev I.A., Solovyeva I.A., Dzyuba A.P. [Managing the demand for energy resources in conditions of development of information and communication technologies]. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta* [Journal of the Ural State University of Economics], 2018, vol. 19, no. 3, pp. 111–125. DOI: 10.29141/2073-1019-2018-19-3-10 (in Russ.)

3. Bodrova E.G.,Leshchukova A.A. [Inventory management based on ABC-analysis as a way to improve the economic efficiency of the enterprise (on the example of "Vending-South")]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya «Ekonomika i upravlenie»* [Bulletin of the Volga State Technological University. Series “Economics and management”], 2018, no. 4, iss. 40, pp. 56–65. (in Russ.)

4. Zhuravlev V.V., Sogrin I.V. [Improving the mechanism of sustainable development of the enterprise as a tool to improve its competitiveness in a crisis]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economy and entrepreneurship], 2016, no. 3-2, iss. 68, pp. 532–535. (in Russ.)

5. Kartvelishvili V.M., Lebedyuk E.A. [The method of hierarchy analysis: criteria and practice]. *Vestnik Rossijskogo ekonomicheskogo universiteta im. G.V. Plekhanova* [Bulletin of the Russian University of Economics. G. V. Plekhanov], 2013, no. 6, iss. 60, pp. 97–112. (in Russ.)

6. Korobov V.B., Tutygin A.G. [Problems of using the method of analysis of hierarchies and ways to solve them], *Ekonomika i upravlenie* [Economics and management], 2016, no. 8, iss. 130, pp. 60–65. (in Russ.)

7. Mitihin V.G. [On the problem of solving multicriteria problems based on the method of analysis of hierarchies]. *Cloud of Science* [Cloud of Science], 2015, vol. 2, no. 4, pp. 519–529. (in Russ.)

8. Mitihin V.G. [On the issue of analysis of decision-making problems with hierarchical structure]. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal* [International research journal], 2015, no. 8-2, iss. 39, pp. 110–114. (in Russ.)

9. Moshchenko I.N., Pirogov E.V. [To the choice of the evaluation scale in the method of analysis of hierarchies]. *Inzhenernyj vestnik Dona* [Engineering journal of Don], 2017, no. 4, iss. 47, pp. 96. (in Russ.)

10. Podinovskaya O.V., Podinovskij V.V. [Analysis of hierarchical multicriteria decision-making problems by methods of criteria importance theory]. *Problemy upravleniya* [Management problem], 2014, no. 6, pp. 2–8. (in Russ.)

11. Polushina I.S. [Organization of integration processes in agriculture of the Kirov region]. *Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal Koncept* [Scientific and methodical electronic journal Concept], 2015, no. S11, pp. 16–20. (in Russ.)

12. Saati T.L. Ob izmerenii neosyazaemogo. podhod k otnositel'nym izmereniyam na osnove glavnogo sobstvennogo vektora matricy parnyh sravnenij [On the measurement of the intangible. an approach to relative measurements based on the main eigenvector of the pair comparison matrix]. *Cloud of Science* [Cloud of Science], 2015, vol. 2, no 1, pp. 5–39. (in Russ.)

13. Saati T.L. *Prinyatie reshenij pri zavisimostyax i obratny`x svyazyax. Analiticheskie seti* [Decision making with dependence and feedback. Analytical networks]. Moscow, URSS publ., 2010, 357 p.

14. Saaty T. *Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarxij* [Decision making with the analytic hierarchy process]. Moscow, 1993, 278 p.

15. Titov V.A., Hajrulin I.G. [On the form of convolution of local priority vectors of alternatives by particular criteria in the generalized vector in the method of analysis of hierarchies]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Study], 2013, no 10-9, pp. 2020–2025. (in Russ.)

16. Shageev D.A., Peregrimova I.M. Methodic of development of coordinated management decisions of distribution of net profit at the enterprise. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 3. pp. 392–415. (in Russian). DOI: 10.20914/2310-1202-2018-3-392-415 (in Russ.)

17. 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

18. 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

19. Belton V., Gear T. On a Short-Coming of Saaty's Method of Analytic Hierarchies. *Omega*, 1983, vol. 11, iss. 5. pp. 228–230. DOI: 10.1016/0305-0483(83)90047-6

20. Benmouss K., Laaziri M., Khoulji S., Kerkeb M.L., Yamami A.E. AHP-based Approach for Evaluating Ergonomic Criteria. *Procedia Manufacturing*, 2019, vol. 32, pp. 856–863. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.02.294

21. Elliott M.A. Selecting numerical scales for pairwise comparisons. *Reliability Engineering and System Safety*, 2010, vol. 95, iss. 7, pp. 750–763. DOI: 10.1016/j.ress.2010.02.013

22. Franek J., Kresta A. Judgment Scales and Consistency Measure in AHP. *Procedia Economics and Finance*, 2014, vol. 12, pp. 164–173. DOI: 10.1016/S2212-5671(14)00332-3.

23. Gnanavelbabu A., Arunagiri P. Ranking of MUDA using AHP and Fuzzy AHP algorithm. *Materials Today: Proceedings*, 2018, vol. 5, iss. 5, part 2, pp. 13406–13412. DOI: 10.1016/j.matpr.2018.02.334

24. Harrington, E.C. The desirable function. *Industrial Quality Control*, 1965, vol. 21, no. 10, pp. 494–498.

25. Ishizaka A., Labib A. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert Systems with Applications*, 2011, vol. 38, iss. 11, pp. 14336–14345. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.04.143

26. Khudyakova T.A., Shmidt A.V. Improving the efficiency of the enterprise's activity based on the implementation of the controlling system. *Proceedings of Strategic Management and its Support by Information Systems*, 2017, pp. 46–52.

27. Mackay D.M. Psychophysics of perceived intensity: A theoretical basis for Fechner's and Stevens' laws. *Science: journal*, 1963, vol. 139, pp. 1213–1216. DOI: 10.1126/science.139.3560.1213-a

28. Meesariganda B.R., Ishizaka A. Mapping verbal AHP scale to numerical scale for cloud computing strategy selection. *Applied Soft Computing*, 2017, vol. 53, pp. 111–118. DOI: 10.1016/j.asoc.2016.12.040

29. Saaty T.L., Ozdemir M. Why the magic number seven plus or minus two. *Mathematical and Computer Modelling*, 2003, vol. 38, pp. 233–244. DOI: 10.1016/S0895-7177(03)90083-5

30. Saaty T.L. *The analytic hierarchy process*. N.-Y., McGraw Hill, 1980. 288 p.

31. Staddon J.E.R. Theory of behavioral power functions. *Psychological Review: journal*, 1978, vol. 85, pp. 305–320. DOI: 10.1037/0033-295x.85.4.305

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

Received January 10, 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Шагеев, Д.А. Модификация МАИ для повышения точности измерений в методике выбора эффективных проектов и других областях науки / Д.А. Шагеев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2020. – Т. 14, № 1. – С. 93–115. DOI: 10.14529/em200110

FOR CITATION

Shageev D.A. Modification of AHP to Improve the Accuracy of Measurements in the Method of Effective Projects Selection and Other Fields of Science. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2020, vol. 14, no. 1, pp. 93–115 (in Russ.). DOI: 10.14529/em200110