

Управление социально-экономическими системами

УДК 65.012.123

DOI: 10.14529/em190218

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ СОГЛАСОВАННЫХ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ ПРОЕКТОВ. ЧАСТЬ 1

Д.А. Шагеев

Международный институт дизайна и сервиса, г. Челябинск, Россия

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

Полученные результаты углублённого анализа позволили не только сформулировать новую методику, но и модернизировать классическое представление МАИ Т. Саати для исправления в ней недостатков, противоречий и преодоления ограничений в части: замены или дополнения показателя отношения согласованности оценок в матрице парных сравнений критериями математической статистики; расширения и уточнения шкалы экспертных суждений Т. Саати; предложения нового показателя уровня результирующей согласованности решений (УРСР), измеряемого при помощи вербально-числовой шкалы Е. Харрингтона в сочетании с такими характеристиками как консенсус, компромисс, конфликт средней и высшей тяжести; присвоения весовых категории для экспертов с учётом специальных требований.

Модернизированная версия МАИ поможет решить разные теоретические и практические проблемы многокритериального выбора в разных областях науки с высокой степенью универсальности и гибкости. В завершении статьи определён потенциал развития методики и МАИ.

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

Введение

В современных рыночных условиях развитие экономики связано с развитием её субъектов за счёт разработки и реализации проектов. Именно проектный подход позволяет осуществить прирост производственных, экономических, финансовых, социальных, экологических, политических и других всевозможных показателей на микро-, макро- и мировом уровне. В статье предлагается методика, которая позволит инвесторам и другим заинтересованным сторонам реализовать процедуру разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов.

Ранее была опубликована статья, где автор провёл углублённый анализ научных трудов для обоснования необходимости в новой методике разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов и формирования её концептуального представления в виде схемы [18]. В других работах автор сформулировал методику разработки согласованных управленческих решений управления развитием промышленного предприятия по показателям дисба-

ланса целевых характеристик [1], распределения чистой прибыли на предприятии [17].

Результаты углублённого анализа научных трудов в области разработки и согласования управленческих решений проблемы выбора эффективных проектов

Кроме концептуального представления результаты углублённого анализа позволили сформулировать для методики ядро в виде метода анализа иерархий (МАИ) Т. Саати, критерии и показатели оценки управленческих решений выбора эффективных проектов, методы оценки решений выбора проектов, методы согласования решений, определить область применения методики благодаря научным трудам следующих учёных: Д.А. Истомин; М.Б. Гитман; В.А. Трефилов; З.А. Усманов; А.А. Ханова; И.В. Тогушаква; О.Н. Бекирова; О.С. Перевалова; С.Н. Яшин; О.С. Боронин; Д.А. Суханов; А.М. Фризоргер; А.И. Головач; С.А. Севастьянова; В.К. Шашкова; Д.В. Фошин; Е.М. Ремезова; В.Г. Чернов; А.Ф. Грибов; Т.А. Гилева; М.П. Галимова; К.И. Щербин; Т.А. Кузовкова; Д.В. Кузовков; А.Д. Кузовков; Е.В. Чертина; В.С.

Урсаки; Д.А. Фиников; Е.Н. Лихошерст; Л.С. Мазелис; А.Я. Чен; Н.В. Путивцева; С.В. Игрунова; Л.В. Мигаль; Д.С. Тайлакова; И.В. Гурьянова; А.М. Курчик; др. [18].

Предлагаемая методика отличается высокой степенью универсальности и гибкости, наличием возможности сформировать группу или группы экспертов, обладающих разными свойствами. Методика обладает высокой степенью адаптивности к влиянию разных факторов проектной среды и возможностью интеграции с другими научными методами (математической статистикой, нечёткими множествами и др.) для реализации своего потенциала развития. Есть возможность использовать модель обобщённой иерархии или модель семейства иерархий для решения проблемы выбора эффективных проектов. Структуру и содержание иерархии можно изменять под разные требования для решения проблемы выбора проектов. Методика содержит новые критерии и показатели оценки. Наличие трёх или даже при необходимости четырёх и более уровней согласования экспертных суждений, что позволяет преодолеть ограничения МАИ и существенно повысить уровень объективности результатов исследования. В методике есть возможность использования компьютерных программ: MS-Excel; СППР Выбор; MPRIORITY; другие [18]. Далее на основании полученных научных результатов сформируем ядро методики.

Ядро методики разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов

В качестве ядра методики, как это было отмечено ранее, принят МАИ. МАИ сочетает в себе такие методы дискретной математики, как графы, деревья и сети [18]. Отличительной особенностью МАИ является наличие возможности математической обработки экспертных оценок на основе матричных вычислений и аддитивной свертки критериев. Наиболее фундаментальные научные труды, известные в экономике и менеджменте, – это «Принятие решений. Метод анализа иерархий» [14], «Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети» [13], другие немаловажные труды [37, 41, 42, 44, 46]. Следует отметить и научных партнёров, с которыми совместно или параллельно работал Т. Саати – это Дж. Хью [48], Л. Варгас [36, 38, 47, 49, 50], П. Ланкастер и М. Тисменетски [30], Р.А. Горн и Ц.Р. Джонсон [28], П.Т. Харкер [27], Р. Вайтекер [38], М.С. Ождемир [43, 45, 33], К. Пенивате [39], Л.Т. Тран [40] и др. Результаты исследований этих и некоторых других авторов помогли Т. Саати сформировать МАИ и в какой-то степени его развить до современного состояния. В качестве современных трудов Т. Саати можно отметить «Возможность группового выбора» [36], «Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений»

[12], «Относительное измерение и его обобщение в принятии решений. Почему парные сравнения являются ключевыми в математике для измерения неосязаемых факторов» [11] и «Магическое число «семь» в природе» [10].

Наиболее удачно теоретические положения МАИ раскрыты в статье «Методика разработки согласованных управленческих решений распределения чистой прибыли на предприятии» [17]. Учтём эти положения и адаптируем их к предлагаемой методике.

Суть МАИ заключается в реализации процедуры парных сравнений. Анализ структуры модели, являющейся базой МАИ, проводится с помощью процедур теории графов. При проведении операции согласования и при решении обратной задачи используются методы оптимизации или нелинейного программирования. МАИ используется для решения слабо структурированных и не структурированных проблем. Методология решения таких проблем опирается на системный подход, при котором проблема рассматривается как результат взаимодействия или взаимозависимости множества разнородных объектов, а не просто как их изолированная и автономная совокупность.

По мнению Т. Саати, человеку присущи два характерных признака аналитического мышления: первый – умение наблюдать и анализировать наблюдения, второй – способность устанавливать отношения между наблюдениями, оценивая уровень (интенсивность) взаимосвязей, а затем синтезировать эти отношения в общее восприятие наблюдаемого. На основе этих свойств человеческого мышления были сформулированы три принципа, реализация которых и является содержанием МАИ:

- 1) принцип идентичности и декомпозиции;
- 2) принцип дискриминации и сравнительных суждений;
- 3) принцип синтеза.

Следует отметить ряд преимуществ использования МАИ для предлагаемой методики:

- 1) совмещает в себе достоинства аналитических и экспертных методов;
- 2) обеспечивает реализацию наиболее эффективного способа оценки количественно неизмеримых, но вместе с тем важных факторов для принятия обоснованных решений;
- 3) не предусматривает введения ограничения на транзитивность (метод работает с несогласованными суждениями и не требует, чтобы предпочтения лиц, принимающих решения, соответствовали аксиомам полезности);
- 4) позволяет сводить исследование сложных проблем к достаточно простой процедуре проведения последовательно попарных сравнений;
- 5) не предполагает прямого определения коэффициентов важности по показателям, используемым для оценки качества решения задачи;

6) сравнительно прост в реализации, а также не требует больших финансовых и временных ресурсов на проведение необходимых расчётов;

7) позволяет решать задачи с условно неограниченным количеством критериев и показателей;

8) высокая степень универсальности для применения в любых сферах деятельности человечества.

Рассмотрим, насколько удовлетворяет МАИ ряду требований к научному обоснованию предлагаемой методики.

1. В МАИ способы получения информации от эксперта соответствуют данным когнитивной психологии о возможностях человека перерабатывать информацию. Действительно, гомогенность и принцип иерархической декомпозиции приводят в соответствие проблему получения оценок с психометрическими возможностями человека.

2. В МАИ имеется возможность проверки информации, полученной от эксперта, на непротиворечивость посредством индекса и отношения согласованности как для отдельных матриц, так и для всей иерархии.

3. Любые соотношения между вариантами решений в МАИ объяснимы на основе информации, полученной от экспертов. Так, анализ весов объектов по нисходящим уровням иерархии позволяет понять, как получено то или иное значение веса.

4. Математическая правомочность решающего правила в МАИ прозрачна и базируется на методе собственных значений и принципе иерархической композиции, имеющих математическое обоснование.

Таким образом, МАИ удовлетворяет четырём основным критериям, обеспечивающим научную обоснованность предлагаемой в статье методики.

Решающим преимуществом МАИ над большинством существующих методов оценивания альтернатив (деревья, сети, графы и др.) является вклад в анализ структуры проблемы и отчетливое выражение экспертных суждений.

Сложность использования МАИ характеризуется большим числом взаимодействий между многими субъективными и объективными факторами различного типа и степени важности, а также группами экспертов с различными целями и противоречивыми интересами. Эти факторы определяют вероятность или невозможность выбора одной из альтернатив, которая приемлема для всех с определенной степенью компромисса. Чтобы разобраться с этой сложностью, нужна систематическая процедура для представления групп, их целей, критериев и поведения, обусловленных этими целями, альтернативных исходов и ресурсов, распределяемых по этим альтернативам. В МАИ эта процедура сводится к построению иерархии проблемы.

За основу была взята иерархия из статьи А.М. Курчика [4] и иерархия из статьи Н.В. Путивцевой

(и др.) [8] с учётом научно-практического развития и адаптации к методике разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов.

В исследовании А.М. Курчика иерархия представлена в форме трёх уровней с общим числом элементов 10: на первом уровне – ранжирование проектов (1 – элемент); на втором – обобщённые критерии (6 – элементов); на третьем – сами проекты (3 – элемента) [4, с. 75]. Автор предлагает при оценке проектов по критериям (экономический, финансовый, социальный, экологический, организационный) руководствоваться разными количественными и качественными показателями проектов, при этом отмечает, «что для решения данной задачи было достаточно построения довольно простой иерархии» [4, с. 78]. Тем самым, А.М. Курчик признаёт, что процедура попарного оценивания проектов экспертами для конечного их ранжирования существенно упрощена и сами показатели с учётом их числовых значений в иерархии не учитывались на прямую, а учитывались только косвенно и условно. По логике автора, эти показатели с числовыми характеристиками нужны экспертам в виде общей информации по проектам только для оценки проектов в иерархии по обобщённым критериям.

В работе Н.В. Путивцевой (и др.) [8] иерархия структурно состоит из трёх уровней с общим числом элементов от десяти: на первом уровне обобщённый критерий эффективности (1 – элемент); на втором – критерии в форме инвестиционных показателей проекта (5 – элементов, причём пятый элемент обозначен «к» и представляет собой множество других возможных критериев в виде показателей); на третьем – инвестиционные проекты (4 – элемента, четвёртый обозначен «ИПн» и представляет собой множества других проектов). Коллектив авторов на втором уровне иерархии учитывают только инвестиционные критерии в форме конкретных показателей, число которых в инвестиционном менеджменте ограничено, несмотря на то, что есть элемент «к». Какие-либо другие критерии, такие как социальные, экологические и другие в работе не учитываются. Таким образом, можно заключить, что иерархия является узконаправленной только на оценку и выбор проектов по инвестиционным показателям. Помимо указанного ограничения в иерархии нет возможности просматривать результаты оценивания проектов по инвестиционным показателям в отдельности. Все эти показатели связаны с исходными проектами на третьем уровне иерархии и эти результаты можно видеть только в отдельных матрицах и расчётах векторов приоритетов. Однако, если в иерархии на втором уровне показатели представить как отдельные критерии без привязки к числовым характеристикам, а на третьем уровне эти же показатели дифференцировать по проектам,

то тогда проблема отсутствия возможности просматривать результаты оценивания проектов по инвестиционным показателям в отдельности будет решена. Данное действие будет учтено в предлагаемой методике. Справедливости ради следует отметить наличие этих же и других похожих проблем формирования иерархии выбора эффективных проектов зарубежных авторов [22, 32, 35, 51, 52]. С учётом результатов проведённого анализа иерархий указанных отечественных и зарубежных авторов построим иерархию проблемы выбора эффективного проекта для методики (см. рисунок).

Обогатить базу критериев и показателей для включения (замещения) их в иерархию проблемы выбора эффективных проектов можно, используя научные труды:

1) отечественных авторов из работы Д.А. Шагеева [18]: И.В. Тогушакова; О.Н. Бекирова и О.С. Перевалова; А.М. Фризоргер и А.И. Головач; С.А. Севастьянова и В.К. Шашкова; А.Ф. Грибов; Т.А. Гилева и М.П. Галимова; Е.В. Чертина; В.С. Урсакки и Д.А. Фиников; М.С. Чванова, И.А. Киселева и А.А. Молчанов; Е.Н. Лихошерст, Л.С. Мазелис и А.Я. Чен; Е.М. Ремезова и В.Г. Чернов; А.И. Бородин, Е.Д. Стрельцова и Е.В. Катков;

2) зарубежных авторов: Ч.Х. Ченг, Дж-Дж-Х. Лиоу и Ч.Ю. Чиу [22]; С. Махмоджадех, Дж. Шахраби, М. Паряжэр и М.С. Заери [32]; Ф.Ф. Рази [35]; М. Салехи [51]; М. Тавана, М. Кераматпоур, Ф.Дж. Сантос-Артэга и Е. Горбаниан [52]; др.

На вершине иерархии отмечена проблема выбора эффективного проекта. На втором уровне представлены критерии оценки проектов: инвестиционная эффективность; экологическая эффективность; степень доверия к ПСД (проектно-сметная документация); социальная эффективность. На третьем уровне расположены критерии-показатели оценки проектов, с исходами в форме показателей по проектам на последнем четвёртом уровне иерархии. Расшифруем все аббревиатуры, указанные в иерархии на рисунке.

Критерий «инвестиционная эффективность проектов»:

1. IC (investment capital) – инвестиционный капитал для проекта, измеряется в денежных единицах (в некоторых случаях этот показатель применяется с учётом дисконтирования).

2. NPV (net present value) – чистый дисконтированный доход проекта, измеряется в денежных единицах.

3. DPI (discounted profitability index) – дисконтированный индекс доходности проекта, измеряется в долях единицы;

4. DROI (discounted return on investment) – дисконтированная рентабельность от инвестиций в проект, измеряется в процентах или долях единицах.

5. DPP (discounted payback period) – дисконтированный срок окупаемости проекта, измеряется в годах.

6. IRR (internal rate of return) – внутренняя норма доходности проекта, измеряется в процентах.

7. MIRR (modified Internal rate of return) – модифицированная внутренняя норма доходности проекта, измеряется в процентах.

Инвестиционные показатели обычно представлены в финансовом (экономическом) разделе ПСД.

Критерий «экологическая эффективность проекта»:

1. CE (contribution to the environment) – вклад в экологию окружающей среды на местном, региональном или федеральном уровне по результатам реализации проекта, измеряемый в рублях (ВЭС).

2. TDE (total damage to the environment) – совокупный ущерб, причинённый окружающей среде от реализации проекта, измеряемый в рублях (СУОС). Этот показатель в дифференцированном виде присутствует в ПСД, либо в отдельных документах, связанных с результатами экологической экспертизы проекта. Обычно эта дифференциация представляется согласно общим формам государственной статистической отчётности:

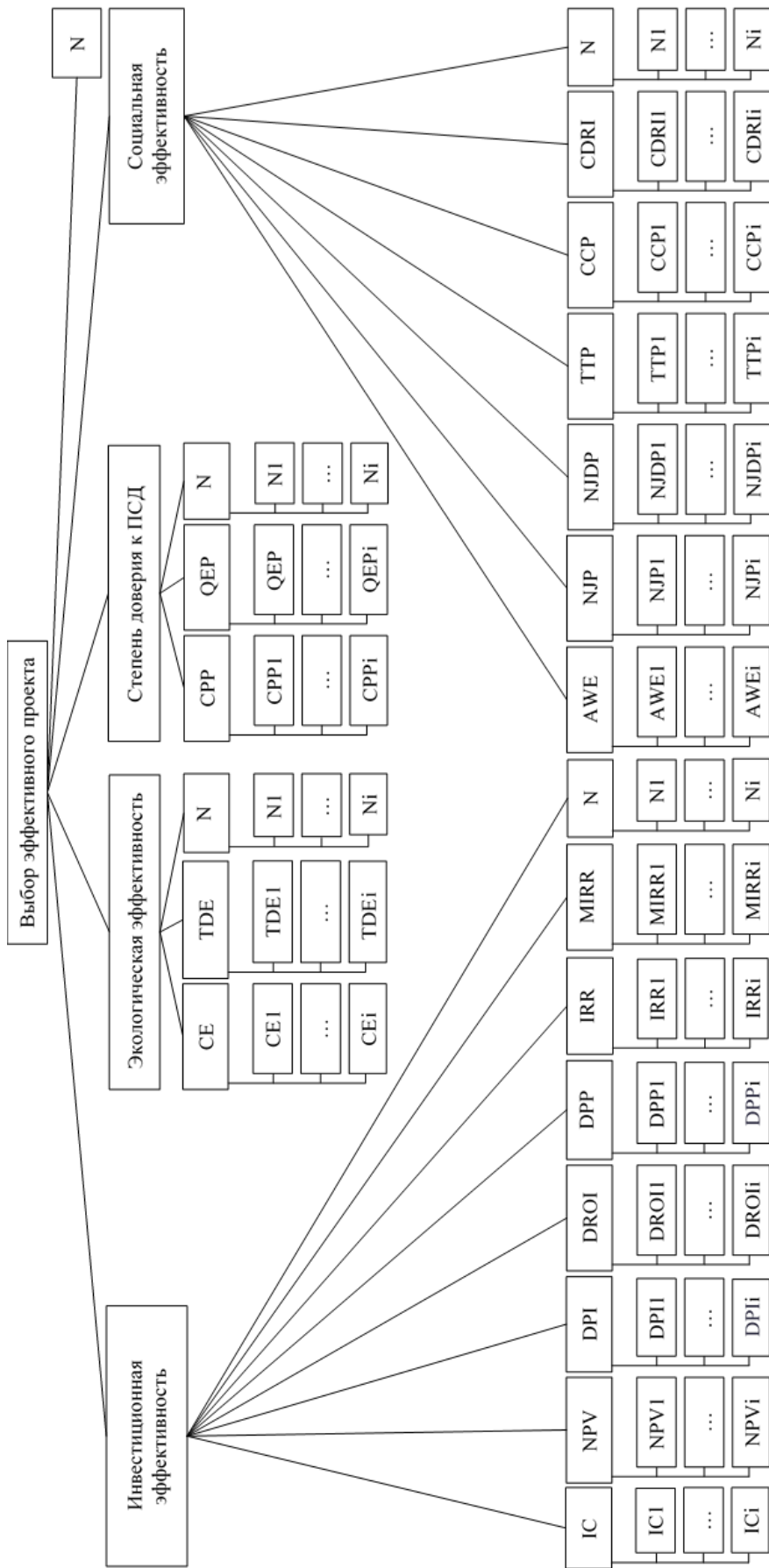
1) форма № 1 (канализация) – отчет о работе канализации. Включает данные о наличии канализационных сооружений и их работе за год;

2) форма № 1 (водопровод) – отчет о работе водопровода. Включает данные о наличии водопроводных сооружений и их работе за год;

3) форма № 2-тп (воздух) – отчет об охране атмосферного воздуха. Представляется ежегодно и включает данные: о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу, их очистке и утилизации; о выбросах в атмосферу специфических загрязняющих веществ; о других выбросах загрязняющих веществ в атмосферу; о выполнении мероприятий по уменьшению выбросов;

4) форма № 2-тп (водхоз) – отчет об использовании воды. Представляется ежегодно и включает данные: о забранной из природных источников, полученной от других предприятий, использованной и переданной воды; о водоотведении, системах оборотного и повторного водоснабжения; установленных лимитов забора воды;

5) форма №2-тп (токсичные отходы) – отчет об образовании и удалении токсичных отходов. Представляется ежегодно и включает данные об отходах (наличие, образование, поступление от других предприятий, использование и обезвреживание, организованное и неорганизованное складирование и захоронение) I, II, III и IV классов опасности;



Иерархия проблемы выбора эффективного проекта

6) форма № 4 (ОС) – отчет о текущих затратах на охрану природы и экологических платежах.

Не всегда эти документы или разделы ПСД содержат информацию об ущербе, который будет причинён окружающей среде от реализации проекта, измеряемом в рублях. Чаще всего единицы измерения экологического ущерба представляются в тоннах, кубометрах и т. д. В таком случае необходимо сделать дополнительные вычисления для перевода этих тонн, кубометров и т. д. в денежный эквивалент и просуммировать в одну величину для удобства восприятия экспертами при оценивании в МАИ. В том случае, если оцениваемые проекты имеют приоритетное экологическое значение, то ветку по критерию экологическая эффективность проекта лучше всего представить в более расширенном виде и для ВЭС, и для СУОС по указанным формам.

Критерий «степень доверия к ПСД» представлен двумя элементами:

1. CPP – credibility of the projector PSD (ДРП – доверие к разработчикам ПСД). Как правило, проектная организация или конкретные ФИО лиц, кто работал над ПСД. Здесь могут браться во внимание имидж, опыт работы, известность и другие характеристики, относящиеся к разработчикам ПСД.

2. QEP – quality of execution of PSD (КИП – качество исполнения ПСД). В данном критерии-показателе могут быть отчёты по экспертизе ПСД, либо эксперты сами могут просмотреть ПСД и оценить показатель КИП независимо от данных экспертизы.

Измерять ДРП и КИП можно по традиционной пятибалльной системе: 5 баллов – отлично; 4 балла – хорошо; 3 балла – удовлетворительно; 2 балла – неудовлетворительно; 1 – полное несоответствие. Могут быть выбраны и другие шкалы оценки этих показателей для экспертов. А уже потом эти оценки проецируются на шкалу попарного оценивания МАИ.

Критерий «социальная эффективность проекта»:

1. AWE (average wage of employees) – средний уровень заработной платы работников, измеряется в рублях (СЗП).

2. NJP (number of jobs from the project) – количество рабочих мест от реализации проекта, измеряется количеством рабочих мест (КРМ).

3. NJDP (number of jobs for people with disabilities from the project) – количество рабочих мест для инвалидов от реализации проекта, измеряется количеством рабочих мест (КРМИ).

4. TTP (total tax payments to the budget) – совокупные налоговые выплаты в пользу бюджета разных уровней от реализации проекта, измеряются в рублях (НВ).

5. CCP (contributions to charity from the project) – отчисления на благотворительность от реализации проекта, измеряются в рублях (ОНБ).

6. CDRI (contribution of the project result to the development of regional infrastructure) – вклад результата проекта в развитие инфраструктуры города, региона и т. д., измеряется в рублях (ВРИ).

Если в ПСД нет измеряемых данных по показателям критерия «социальная эффективность проектов», то их следует отдельно вычислить и предоставить экспертам для работы с методикой.

Все представленные показатели критерия «социальная и экологическая эффективность» могут измеряться в других единицах. Самое главное условие для проведения корректного попарного оценивания, чтобы объекты были измерены в единых единицах в границах одной матрицы.

Критерий «экологическая эффективность» и «степень доверия к ПСД» являются авторским дополнением к существующим критериям и показателям в анализе иерархии для выбора эффективного проекта.

В зависимости от характера оцениваемых проектов, решаемых целей и задач заинтересованных сторон проекта (инвесторов, заказчиков и т. д.) иерархия, представленная на рисунке, может быть расширена через значение «N» на любом уровне, в любом количестве или, наоборот, уменьшена каким-либо образом по структуре и / или содержанию. Но иерархия утверждается, а может быть даже разрабатывается заказчиками и другими заинтересованными сторонами процесса исследования проблемы выбора эффективных проектов, может быть, совместно с группой экспертов. Также следует отметить, что риски в качестве критериев не были учтены, так как они уже содержатся в иерархии по умолчанию. Например, в критерии-показателе NPV через учёт премии за риск в ставке дисконтирования, или показатель СУОС.

Кроме того, в методике рекомендуются три подхода работы экспертов с иерархией.

1. Иерархия принимается в полном объёме для оценивания одной группой экспертов.

2. Иерархия делится на семейство иерархий (деревьев), и одна группа экспертов работает с каждой частью общей иерархии отдельно.

3. Иерархия делится на семейство иерархий (деревья), а эксперты набираются в разные группы (экономисты, экологи, социологи и специалисты по ПСД), каждая из которых в силу своей компетенции производит работу со своей частью общей иерархии. В таком случае критерии (второй уровень иерархии) оцениваются совместно всеми экспертами, а ветки иерархии по этим критериям оцениваются отдельно каждой группой самостоятельно.

При выборе второго или третьего подхода иерархия рисунка делится на пять отдельных веток:

1) выбор эффективного проекта (первый уровень общей иерархии) со связями по критериям (второй уровень общей иерархии): инвестиционная, экологическая, социальная эффективность и степень доверия к ПСД (участвуют все группы экспертов при третьем подходе);

2) инвестиционная эффективность (второй уровень общей иерархии) со связями с критериями-показателями (третий и четвёртый уровень общей иерархии): NPV; DPI; DROI; DPP; IRR; MIRR.

3) экологическая эффективность (второй уровень общей иерархии) со связями с критериями-показателями (третий и четвёртый уровень общей иерархии): ВЭС; СУОС.

4) степень доверия к ПСД (второй уровень общей иерархии) со связями с критериями-показателями (третий и четвёртый уровень общей иерархии): ДРП; КИП.

5) социальная эффективность (второй уровень общей иерархии) со связями с критериями-показателями (третий и четвёртый уровень общей иерархии): СЗП; КРМ; КРМИ; НВ; ОНБ; ВРИ.

Таким образом, появляется семейство отдельных иерархий. В таком случае работа реализуется дозированно по отдельным веткам общей иерархии, что, на наш взгляд, существенно облегчает и повышает качество работы экспертов. Опыт работы экспертов по семейству небольших иерархий был на промышленном предприятии ООО «Магма» (г. Курган) при разработке согласованных управленческих решений распределения чистой прибыли [35]. Все участники исследования положительно отзывались о таком приёме разделения большой иерархии на малые.

По поводу критериев оценки эффективности проектов следует выполнять обязательное условие. **Все указанные исходы в иерархии на четвёртом уровне рисунка, должны измеряться в конкретных единицах!** Если в ПСД какие-либо показатели и их измерения отсутствуют, значит необходимо предоставить их дополнительно или прямо внести в ПСД. Так или иначе, помимо ПСД и других документов все показатели необходимо выписать (напечатать) на отдельные (-ых) листы (-ах) для предоставления каждому эксперту. Это действие существенно облегчит, ускорит и повысит качество работы экспертов. Кроме того, можно будет ожидать высокие показатели сбалансированности управленческих решений экспертов по выбору эффективных проектов.

После иерархического воспроизведения проблемы устанавливаются приоритеты критериев и оценивается каждая из альтернатив по критериям. В МАИ элементы задачи сравниваются попарно по отношению к их воздействию на общую для них

характеристику. Система парных сведений приводит к результату, который может быть представлен в виде обратно симметричной матрицы. Элементом матрицы $a(i,j)$ является интенсивность проявления элемента иерархии i относительно элемента иерархии j , оцениваемая по шкале интенсивности от 1 до 9 баллов, предложенной Т. Саати, где оценки имеют определённый смысл (табл. 1) [14, с. 53].

Для МАИ справедливы следующие положения:

1. Обратная симметричность как основная характеристика парных сравнений. Для матрицы парных сравнений $A = (a_{ij})$ интенсивность предпочтений a_i над a_j обратна интенсивности предпочтения a_j над a_i .

2. Гомогенность сравниваемых элементов данного уровня иерархии.

3. Зависимость нижнего уровня от непосредственно примыкающего к нему высшего уровня.

Дальнейшие вычислительные аспекты методики связаны с операциями над матрицами парных сравнений. В результате математических операций над каждой из матриц экспертных суждений могут быть вычислены приоритеты сравниваемых элементов-объектов каждого уровня иерархии и степень их согласованности. Форма матрицы парных сравнений представлена в табл. 2.

Суммарные приоритеты нижних элементов-объектов могут быть найдены в результате выполнения арифметических действий над соответствующими матрицами суждений для каждого элемента-объекта вышестоящих уровней. По аналогичным правилам над матрицами-столбцами, составленными из числовых мер согласованности для отдельных матриц суждений (также для каждого из вышестоящих элементов-объектов), вычисляется мера согласованности иерархии в целом. Раскроем эти положения подробнее.

После выставления балльных оценок в пределах одной матрицы, прямая обработка данных иерархии подразумевает нормирование полученных оценок (n_{ij}) и вычисление собственных векторов приоритетов (w_{Ai}) по формулам:

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=j=1}^k a_{ij}}, \quad (1)$$

где a_{ij} – оценка попарного сравнения элементов определённого уровня иерархии в матрице, баллы; $\sum_{i=j=1}^k a_{ij}$ – сумма оценок попарного сравнения элементов в пределах каждого столбца матрицы, баллы; k – количество элементов A_{ij} уровня иерархии, сравниваемых в границах матрицы.

$$w_{Ai} = \frac{\sum_{j=1}^k n_{ij}}{k}, \quad (2)$$

где $\sum_{j=1}^k n_{ij}$ – агрегированная величина нормированных балльных оценок в пределах каждой строки матрицы, при этом $i = \text{const}$.

Таблица 1

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

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

Таблица 2

Матрица парных сравнений в универсальной методике разработки согласованных управленческих решений
для выбора эффективных инвестиционных проектов на базе МАИ

	A1	A2	A3	...	A _j
A1	1	a ₁₂	a ₁₃	...	a _{1j}
A2	a ₂₁	1	a ₂₃	...	a _{2j}
A3	a ₃₁	a ₃₂	1	...	a _{3j}
...	1	...
A _i	a _{i1}	a _{i2}	a _{i3}	...	1

В результате прямой обработки данных иерархии будут получены итоговые значения для каждого уровня по каждому элементу. Обработка данных иерархии в обратном порядке начинается со второго уровня и подразумевает учёт векторов приоритетов, полученных на вышестоящих уровнях. Вычисления проводятся путём перемножения соответствующих векторов и матриц.

Для вычисления результирующих векторов приоритетов (W_{Ai}) для промежуточного или последнего уровня иерархии (исходы) следует использовать следующую формулу:

$$W_{Ai} = \prod_{i=1}^A w_{Ai}. \quad (3)$$

Проще говоря, результирующий вектор приоритета есть не что иное, как результат произведения простых векторов приоритетов, полученных на всех уровнях иерархии для каждого матричного значения (A).

Для агрегирования мнений экспертов в методике принимается среднеарифметическое значение с учётом весовой категории экспертов, которое можно рассчитать по формуле:

$$a_{ij}^{ug} = \frac{\sum_{n=1}^m a_{ij}^n v_n}{\sum_{n=1}^m v_n}, \quad (4)$$

где a_{ij}^{ug} – агрегированная оценка одного элемента, 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), баллы.

Соответственно, формула (1) изменит свой вид (n_{ij}^{ug}) с учётом операции агрегирования экспертных суждений:

$$n_{ij}^{ug} = \frac{a_{ij}^{ug}}{\sum_{i=j=1}^k a_{ij}^{ug}}. \quad (5)$$

Усреднение суждений экспертов может быть осуществлено и на уровне собственных векторов матриц парных сравнений (\mathbf{w}_{Ai}^{ug}) или результирующих векторов приоритетов (\mathbf{W}_{Ai}^{ug}). Тогда формулы (2) и (3) изменятся и будут иметь следующий вид:

$$w_{Ai}^{ug} = \frac{\sum_{i=n=1}^k w_{Ai}^n v_n}{\sum_{n=1}^m v_n} = \frac{\sum_{j=1}^k n_{ij}^{ug}}{k}, \quad (6)$$

$$W_{Ai}^{ug} = \frac{\sum_{i=n=1}^A W_{Ai}^n v_n}{\sum_{n=1}^m v_n} = \prod_{i=1}^A w_{Ai}^{ug}. \quad (7)$$

В качестве замечаний по реализации этой части методики следует отметить.

1. Весовые категории экспертов могут быть оценены от 1 до 3 баллов (минимально или максимально удовлетворяют требованиям процедуры набора и отбора) в зависимости от выявленных профессиональных и психологических характеристик при помощи тестирования. Рекомендуется формировать рабочую группу из специалистов, обладающих компетенцией инвестиционного анализа, экологии, социологии и эксперта ПСД. Особенности формирования рабочей группы экспертов для реализации предлагаемой методики будет посвящена отдельная статья. Для того, чтобы была возможность оценить уровень сбалансированности экспертных суждений, рекомендуется осуществлять набор в группу от 10–12 человек. Если принято решение использовать в методике третий подход «Иерархия делится на семейство иерархий, а эксперты набираются в разные группы (экономисты, экологи, социологи и эксперты ПСД) ...», то рекомендуется набирать от 10–12 человек в каждую из указанных групп. Только при таком минимальном количестве человек в группе (-ах) можно будет осуществить оценку согласованности экспертных суждений в МАИ при помощи методов математической статистики.

2. Округление полученных оценок в формуле (4) осуществляется в ближайшую сторону согласно полной семнадцатибалльной шкале Т. Саати, которая будет описана далее в тексте статьи. Округление векторов приоритетов, полученных по формулам (2), (3), (6) и (7) осуществляется до десяти тысячных, также как и нормированных оценок из формул (1) и (5).

После того, как все оценки в иерархии выставлены, в методике необходимо реализовать следующую процедуру формальной проверки полученных данных при помощи показателей собственного числа матрицы, индекса согласованности и отношения согласованности.

МАИ предполагает проверку согласованности полученных матриц. Из линейной алгебры известно, что у положительно определённой, обратно симметричной матрицы, имеющей ранг один, максимальное собственное число равно размерности этой матрицы, то есть (λ). При проведении сравнений в реальной ситуации вычисленное максимальное собственное число (λ_{max}) будет отличаться от соответствующего собственного числа для идеальной матрицы. Это различие характеризует несогласованность реальной матрицы и, соответственно, характеризует уровень доверия к полученным результатам. Чем больше это отличие, тем меньше доверие. Поэтому важным элементом расчётов, согласно МАИ, является определение индекса согласованности (**ИС/СИ – consistency index**) по формуле [14]:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - x}{x - 1}, \quad (8)$$

где λ_{max} – собственное число матрицы парных сравнений; x – размерность матрицы.

Именно индекс согласованности информирует лицо, принимающее решение, о степени нарушения численной (кардинально) и транзитивной (порядковой) согласованности. Значение собственного числа матрицы находится через произведение суммы столбца на соответствующую ей альтернативу (решение) [14]:

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^k a_{ij} w_{Ai}. \quad (9)$$

В завершение рассчитывается показатель однородности суждений (**ОС/СР – consistency ratio**) экспертов по формуле [14]:

$$CR = \frac{CI}{RI}, \quad (10)$$

где **RI (random index)** – индекс согласованности матрицы размерности n , заполненной при случайном моделировании, табл. 3 [14].

Формулы (8)–(10) применяются для оценки согласованности заполненных матриц одним экспертом. Для получения агрегированных показателей **ИС**, λ_{max} и **ОС** в формулу (9) необходимо подставить a_{ij}^{ug} вместо a_{ij} и w_{Ai}^{ug} вместо w_{Ai} . Только таким образом можно учесть суждения всех экспертов и их веса.

После решения задачи иерархического синтеза оценивается однородность всей иерархии с помощью суммирования показателей однородности всех уровней иерархии, приведённых путём «взвешивания» к первому иерархическому уровню, где находится корневая вершина.

Однородность иерархии или отдельных матриц, по мнению Т. Саати, считается удовлетвори-

Таблица 3
Согласованность случайных матриц МАИ Т. Саати для методики разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов

Размерность матрицы, n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность, RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

тельной при значении $OC \leq 0,1$, в некоторых случаях допускается неравенство $OC \leq 0,15$. Если OC выходит за эти пределы, лицу, принимающему решение, нужно заново исследовать содержательную её сторону и соответствующие количественные оценки элементов и внести необходимые изменения в исходные данные.

Значение показателя OC будет удовлетворять условия $OC \leq 0,1$ тогда, когда при реализации процедуры попарного оценивания в матрице будет соблюдаться определённая Т. Саати простая транзитивная логика [14, с. 13]. Например, если объект «А» больше (в источнике [14, с. 13] «тяжелее», не корректный перевод, так как не указаны какие-либо единицы измерения, поэтому, скорее всего подходит слово «больше») чем объект «Б», а объект «Б» больше чем объект «В», тогда объект «А» должен быть больше объекта «В» по умолчанию (так как $V < B$). Также Т. Саати приводит ещё один пример «если яблоки в 2 раза предпочтительнее апельсинов, а те, в свою очередь, в 3 раза предпочтительнее бананов, то яблоки должны быть в 6 раз предпочтительнее бананов. Именно это мы называем числовой (кардинальной) согласованностью по степени предпочтений ...» [14, с. 13]. Количество объектов может быть и больше, транзитивная логика остаётся прежней. С точки зрения эмпирического подхода использования МАИ оба примера транзитивной логики не отображают реальной согласованности. Транзитивная логика будет работать в том случае, если названные объекты в примерах будут привязаны к конкретным измеряемым величинам, только тогда показатель OC будет соответствовать реалиям практики. Например, если объект «А» (10 руб.) больше чем объект «Б» (8 руб.), а объект «Б» больше чем объект «В» (6 руб.), тогда объект «А» (10 руб.) действительно будет больше объекта «В» (6 руб.) по умолчанию (так как $V < B$). Смысл в транзитивной логике примера с яблоками, апельсинами и бананами появляется только тогда, когда эти объекты привязаны к конкретным измерениям, например, к килограммам или калориям.

Там же Т. Саати пишет, что в идеале нужно, чтобы каждый объект, участвующий в процедуре парных сравнений в рамках матрицы, имел привязку к конкретным измеряемым величинам в каких-либо единицах измерения (далее по тексту будем использовать сокращение «измерения»). Однако приводимые примеры с «фруктами» [14, с. 13], «удовлетворением школой» [14, с. 29] или «психотерапией» [14, с. 44–46] и т. д. не могут быть привязаны к конкретным измерениям и являются очень субъективными исследованиями, и в какой-то степени с «подгоном» матричных оценок к нужным значениям для получения правильного показателя OC . В какой-то степени транзитивная логика срабатывает для использования МАИ одним субъектом, даже иногда без привязки матрич-

ных оценок к конкретным измерениям, либо «угадал», либо осуществлён «подгон к транзитивной логике» или другие приёмы. А если предположить, что в исследовании участвует 3, 10 или даже 50 человек, и объекты попарного сравнения не привязаны к конкретным измерениям, то процедура оценивания показателя OC в МАИ абсолютно теряет какой-либо смысл. Например, для одного субъекта предпочтительней красный цвет, чем синий и белый, для другого лучший цвет синий, чем белый и красный и т. д. У каждого субъекта будет своя транзитивная логика, и даже она может не сработать для удовлетворения условия $OC \leq 0,1$ и тем более, если эти оценки будут агрегированы в форме средних оценок в одной матрице. Нередко на практике бывает так, что какой-то объект или объекты из транзитивной цепочки не будут привязаны к измерениям, а некоторые в свою очередь будут (смешанные объекты), тогда показатель OC в своём привычном виде тоже обесценится в транзитивном смысле. В других указанных источниках Т. Саати [11, 12, 14, 38–41] излагаются похожие противоречивые позиции МАИ по поводу измеряемых, не измеряемых и смешанных объектов в рамках сохранения транзитивной логики и получения правильного показателя OC .

Справедливости ради следует указать последние публикации Т. Саати [10, 11, 12, 36], где он всё же больше склоняется к тезису о том, что объекты исследования в МАИ должны быть привязаны к каким-либо измерениям и приводит разные примеры соблюдения принципа транзитивности, выраженного в показателе OC . Но даже в таком случае оцениваемые объекты могут обладать свойством нечёткости или «расплывчатости», выраженным в форме двух, трёх, четырёх и более измерений. Случай может усложниться наличием суждений множества экспертов, выраженных в агрегированных матричных оценках. И тогда показатель OC в МАИ тоже теряет всякий смысл, как и сама транзитивная логика, его образующая. Например, объекты оценивания в МАИ можно представить в форме показателей NPV , полученных при помощи анализа чувствительности или сценариев **проектов** в двух, трёх и более вариантах, и каждый эксперт из группы может выбрать любые варианты для каждого проекта в процессе парного сравнения. Можно предположить идеальную ситуацию, в которой все объекты иерархии привязаны к единым измерителям и измерениям в единственном варианте представления. Тогда встаёт вопрос о том, а нужен ли вообще такой инструмент МАИ, который предлагает Т. Саати, требуя соблюдения транзитивной логики при парных оценках в матрице? В этой ситуации может гораздо проще и понятнее для экспертов использовать метод на базе средневзвешенных оценок, ELECTRE или ещё проще при помощи обычной комбинаторики проранжировать объекты и выбрать те объекты,

которые в совокупности будут обладать высокими измеряемыми величинами.

Однако МАИ Т. Саати тем **уникален**, что даёт возможность при любых характеристиках (измеряемые, не измеряемые, смешанные и нечёткие) объектов получить результаты исследования, позволяющие принять эффективные решения, если учесть указанные и другие замечания, модификации (которые будут раскрыты далее в тексте статьи) применительно к показателю **ОС** и транзитивной логике.

На практике проблема высокого показателя **ОС** обычно решается путём замены некоторых оценок в матрице для получения значения не более **0,1**. Но при реализации такого решения (своего рода «подтасовка» данных) будет снижаться уровень объективности и качества исследования для достижения практических, а не теоретических результатов. Иногда лица, принимающие решения, пытаются изменить размерность матрицы путём изменения количества (в большую и меньшую сторону) критериев, альтернатив или других элементов в уровнях иерархии, или произвести их замены. Такая мера тоже не всегда срабатывает для получения эталонных значений **ОС**.

Поэтому, если в процессе использования МАИ в каком-либо случае результаты оценок в матрице парных сравнений не будут удовлетворять условиям заданного эталона, то рекомендуется не «подтасовывать» данные, а принять их с учётом указанных объяснений, а уровень согласованности экспертных оценок дополнительно измерять при помощи методов математической статистики. Это разумное действие позволит получить адекватные результаты исследования, соответствующие реальности и требованиям практики. Главное – необходимо проследить соответствия суммарных значений результатов нормирования и правильность определения векторов приоритетов без учёта и с учётом операции агрегирования экспертных оценок.

Представленные автором статьи, его коллегами и партнёрами замечания постоянно фиксируются уже на протяжении пяти лет в работе разных экспертных групп, использующих МАИ на практике. С момента первых публикаций Т. Саати в научном мире не прекращаются дискуссии по поводу указанных и других существующих проблем применения МАИ в разных областях человеческой деятельности. Выделим некоторые наиболее современные научные источники, в которых присутствует дискуссия в области проблематики и модернизации МАИ под авторством В.Б. Коробова и А.Г. Тутьгиной [5], В.Г. Митихина [6], О.В. Подиновской и В.В. Подиновского [7], В.М. Картелишвили и Э.А. Лебедюк [2, 3], В.А. Титова и И.Г. Хайрулина [16], А.М. Покровского [9]. Постоянно предлагаются всевозможные пути модернизации МАИ для устранения проблем или расширения

границ его применения зарубежными учеными [20, 21, 22, 25, 32, 35, 51, 52]. До конца своей жизни (14.08.2017) Т. Саати не прекращал процесс модернизации МАИ в разных научных трудах [10, 11, 12, 36–42, 44, 45, 49, 50]. Однако в этих научных трудах те проблемы, ограничения и противоречия, которые автор обозначил в тексте статьи, остались не решёнными для теории и практики МАИ. Более полное и аргументированное представление описанной научной дискуссии будет дано в отдельной публикации автора. Данная статья посвящена раскрытию сути методики разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов.

Устранение указанных проблем, ограничений и противоречий помогут не только повысить качество предлагаемой в статье методики, но и модернизировать МАИ в универсальном смысле. Для этого предлагается четыре принципиально новых научных тезиса.

1. Следует оказывать полное доверие к показателю **ОС** в том случае, когда выполняются следующие условия: все объекты в рамках матрицы парных сравнений привязаны к единым измерителям и измерениям; в случае множества вариантов измерения объекта выбирается только один вариант; оценивание производит только один эксперт (**не агрегированные матричные оценки!**). В случаях где все или некоторые объекты сравнения в рамках одной матрицы иерархии не могут иметь какой-либо привязки к единым измерителям и/или измерениям, то рекомендуется оказывать недоверие показателю **ОС** в МАИ в форме его игнорирования (**агрегированные и не агрегированные матричные оценки!**).

2. Если в исследовании участвуют эксперты с общей численностью от **10–12** человек, то независимо от того, какие объекты используются в иерархии (измеряемые, не измеряемые, чёткие, нечёткие или различные сочетания этих характеристик в объектах матриц), проверять согласованность экспертных суждений, выраженных в матричных оценках, следует при помощи разных методов математической статистики: критерия Пирсона; критерия Колмогорова–Смирнова; критерия Джини; критерия конкордации Кендэла; критерия Романовского и Ястремского; критерия Крамера–Мизеса–Смирноваф; многих других. Указанные статистические критерии позволят в МАИ и методике использовать операцию одинарной, двойной и более проверки или перепроверки матричных оценок, не считая **ОС**. Привлекать к работе экспертов численностью менее **10–12** человек не имеет статистического смысла. Так как такого числа экспертов будет недостаточно для оценки согласованности суждений в форме матричных оценок на базе методов математической статистики, а формальная оценка показателя **ОС** не даст корректного результата кроме тех случаев, которые описаны

в первом тезисе научной новизны. Для того чтобы оценить согласованность всей иерархии или семейства иерархий в МАИ и методике предлагается новый показатель «уровень результирующей согласованности решений» (УРСР). Этот показатель базируется на результатах математико-статистической обработки агрегированных матричных оценок из всех матриц в рамках иерархии или семейства иерархий.

3. Для методики и МАИ предлагается использовать весовые категории для присвоения их экспертам (см. формулы (4)–(7)). Всего три категории, учитывающие соответствия экспертов предъявляемым требованиям в исследовании: 1 – в минимальной степени; 2 – в средней степени; 3 – в большей степени. Чтобы эксперту получить категорию 1, ему необходимо соответствовать формальным требованиям: минимальный стаж работы в области разработки, реализации, завершения и управления проектами; минимальный опыт аналитической деятельности; наличие авторитета и / или рекомендаций; другие формальные признаки. Чтобы эксперту получить категорию 2 или 3, необходимо пройти специальное письменное тестирование или опрос, или другие экспресс-формы оценивания профессиональных компетенций, по результатам которых и будет присвоена соответствующая категория. Для допуска к получению 2 и 3 категории эксперт обязательно должен иметь 1 категорию. Эксперты, не получившие 2 или 3 категорию, к исследованию допускаются. Следование этому тезису в методике позволит увеличить выборку за счёт весов, а это действие в свою очередь поможет повысить уровень согласованности экспертных суждений в форме матричных оценок.

4. В том случае, если все или некоторые объекты попарного оценивания в иерархии привязаны к двум, трём, четырём и более измерениям, то в методику и МАИ следует интегрировать аппарат нечётких множеств.

Первый тезис уже достаточно описан и доказан в тексте статьи. **Третий тезис** является дополнением к предлагаемой методике и в большей степени будет раскрыт в отдельной публикации, посвящённой подбору и отбору экспертов для рассматриваемой и других авторских методик. **Четвёртый тезис** содержит второе фундаментальное положение научной новизны для финансовой и математической науки: синтез МАИ с методами теории нечётких множеств и методами математической статистики. Четвёртому тезису тоже будет посвящена отдельная статья. Далее в тексте статьи раскроем **второй тезис**, относящийся к первому фундаментальному положению методики, обладающему научной новизной для финансовой и математической науки: синтез МАИ с методами математической статистики.

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

Второй тезис. Ещё раз напомним, что на практике даже удовлетворительный показатель **ОС** в МАИ не является гарантом согласования управленческих решений экспертов. Даже при реализации проверки согласованности решений в виде агрегированных матричных оценок a_{ij}^{ug} в МАИ будет получено неравенство $ОС \leq 0,1$, при этом критерии математической статистики могут дать отрицательный результат. Возможна и обратная ситуация. Так или иначе, эти практические ситуации связаны с указанными выше в тексте статьи недостатками МАИ в части **ОС** и её транзитивной логической платформы. Автор методики рекомендует в большей степени полагаться на результаты согласования по статистическим критериям Пирсона, Колмогорова–Смирнова, Джини, Кендэла, Романовского и Ястремского, Крамера–Мизеса–Смирнова, многих других. Также следует знать, что не все матричные оценки a_{ij}^{ug} в МАИ следует подвергать проверке на согласованность по указанным критериям. Так как матрица парных оценок обладает свойством обратной симметричности, то выбираются оценки либо из верхней, либо из нижней её части, разделяемых диагональной линией из однозначных суждений в виде единиц (см. табл. 2).

Обозначенные критерии помогут придать полученным матричным оценкам a_{ij}^{ug} в МАИ статистическую значимость в ходе проведения их проверки. Это решение даёт возможность дополнить показатель **ОС** в МАИ со всеми его недостатками или частично, или даже полностью его заменить. Если оценки по указанным критериям попадут в зону статистической значимости, то можно будет отметить тот факт, что оценённые суждения экспертов по выбору эффективных проектов будут согласованы.

Теперь перейдём к раскрытию сути интеграции критериев Пирсона и Колмогорова–Смирнова в методику и МАИ.

Первоначальным источником критерия хи-квадрат является статья К. Пирсона «On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling» (в оригинале) [34]. Продолжили исследование данного критерия Х. Чернов и И.Л. Леман [23]. Наиболее известные современные научные труды по использованию критерия в математической статистике известны под редакцией авторов Дж.В. Кордера и Д.И. Форемана [24], В. Багдонавициуса и М.С. Никулина [19], П.Е. Гринвуда [26].

Критерий Пирсона построен так, что при полном совпадении экспериментального и теоретического распределений величина хи-квадрат эмпирическое ($\chi^2_{emp.}$) равна нулю, и чем больше расхождение между сопоставляемыми распределениями, тем больше величина $\chi^2_{emp.}$. Основная расчетная формула критерия $\chi^2_{emp.}$ выглядит следующим образом:

$$\chi^2_{emp.} = \sum_{i=1}^m \frac{(f_{emp.} - f_{theor.})^2}{f_{theor.}}, \quad (11)$$

где $f_{emp.}$ – эмпирическая частота в форме матричных оценок a_{ij}^n в МАИ, выставленных экспертами с учётом весовых категорий v по шкале Т. Саати, баллы; $f_{theor.}$ – теоретическая частота в форме равного распределения матричных оценок a_{ij}^n в МАИ по шкале Т. Саати, баллы; m – количество разрядов признака в форме полной или модифицированной шкалы Т. Саати.

По поводу учёта весовых категорий экспертов v при расчёте статистических критериев (Пирсона, Колмогорова–Смирнова, Джини, Кендэла и др.) следует сделать примечание. Значение a_{ij}^n принимается в количестве, равном весовой категории эксперта. Например, присвоена весовая категория матричной оценки первого эксперта ($a_{ij}^1 = 5$ баллов) в размере три ($v=3$), тогда правильная запись этой матричной оценки будет выглядеть следующим образом: $a_{ij}^1 \Leftrightarrow \{a_{ij}^{1,1}; a_{ij}^{1,2}; a_{ij}^{1,3}\}$; $a_{ij}^1 \Leftrightarrow \{5; 5; 5\}$. Если упростить восприятие, то матричная оценка a_{ij}^1 из примера должна приниматься в форме трёх одинаковых оценок вместо одной. Таким образом, размер выборки для математической статистики следует определять путём суммирования всех весовых категорий, принадлежащих экспертам в группе: $n = \sum_{i=1}^m v_{n_i}$.

Полученный критерий $\chi^2_{emp.}$ подвергается процедуре сравнения с его табличным значением ($\chi^2_{tab.}$) соответствующего выбираемому уровню статистической значимости **0,01** или **0,05** при определённой степени свободы. Для принятия альтернативной гипотезы (H_1) о различии эмпирической и теоретической частоты следует выполнять условия неравенства ($\chi^2_{tab.} < \chi^2_{emp.}$), тогда матричные оценки a_{ij}^{ug} в МАИ будут статистически значимы и их следует принять. В противном случае принимается гипотеза о сходстве частот (H_0), тогда полученные результаты матричных оценок a_{ij}^{ug} в МАИ потеряют статистический смысл.

Критерий согласия Колмогорова–Смирнова базируется на публикациях отечественных и зарубежных авторов: А.Н. Колмогоров [29], Н.В. Смирнов [15] и Х.В. Лилиэфорс [31]. Эмпирическую величину критерия ($\mathcal{KS}_{emp.}$) вычисляют по следующей формуле:

$$\mathcal{KS}_{emp.} = \frac{\max |FE - FB|}{n}, \quad (12)$$

где E – частоты теоретические в форме равного распределения матричных оценок a_{ij}^n в МАИ по шкале Т. Саати, баллы; F – частоты эмпирические в форме матричных оценок a_{ij}^n с учётом весовых категорий v в МАИ, выставленных экспертами по шкале Т. Саати, баллы; FE – накопленные теоретические частоты, баллы; FB – накопленные эмпирические частоты, баллы; $|FE - FB|$ – разница накопленных частот в абсолютном выражении, баллы; n – объём выборки экспертов в группе, чел.

Далее эмпирически полученный критерий сравнивают с его табличным критическим значением. В том случае, если число элементов выборки больше **100**, то величину критических значений критерия ($\mathcal{KS}_{crit.}$) вычисляют по формуле:

$$\mathcal{KS}_{crit.} = \begin{cases} \frac{1,36}{\sqrt{n}} & \text{для } P \leq 0,05 \\ \frac{1,63}{\sqrt{n}} & \text{для } P \leq 0,01 \end{cases}, \quad (13)$$

где P – уровень статистической значимости.

В любом из указанных случаев полученные матричные оценки a_{ij}^{ug} в МАИ следует принимать в том случае, когда гипотеза H_0 о сходстве эмпирической и теоретической частоты отклоняется, а альтернативная гипотеза H_1 об их различии принимается. Такое возможно только тогда, когда соблюдаются условия неравенства ($\mathcal{KS}_{crit.}^{0,05} < \mathcal{KS}_{emp.}$) или ($\mathcal{KS}_{crit.}^{0,01} < \mathcal{KS}_{emp.}$).

Для того, чтобы расширить возможности использования в МАИ и методике критериев Пирсона и Колмогорова–Смирнова для малых и очень малых выборок, необходимо модифицировать 9-балльную числовую шкалу Т. Саати (см. табл. 1) для уменьшения количества разрядов признака. Если принять шкалу Т. Саати в полном объёме, то получится 17 разрядов признака по балльным оценкам с учётом обратной симметричности как основной характеристики парных сравнений в матрице МАИ. Для матрицы парных сравнений $A = (a_{ij})$ интенсивность предпочтений a_i над a_j восемь разрядов признака по оценкам в баллах: 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9. Другие восемь разрядов признака при обратной интенсивности предпочтения a_j над a_i по оценкам в баллах: 1/2; 1/3; 1/4; 1/5; 1/6; 1/7; 1/8; 1/9. Один разряд признака соответствует единице при равнозначности предпочтения a_i и a_j .

Предлагается сделать допущения, связанные с интеграцией оценок по группам для 9-балльной и 7-балльной модификации полной шкалы Т. Саати.

Девятибалльная 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.

Семибалльная 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.

Для вычислений критериев Пирсона и Колмогорова–Смирнова в первую очередь выбирается оригинальный вариант числовой шкалы Т. Саати, если эмпирические их значения будут меньше таб-

личных, тогда сначала можно будет использовать 9-балльную модификацию, а уже в последнюю очередь 7-балльную. Соответственно, степень доверия к матричным оценкам a_{ij}^{ug} будет следующей: высшая при использовании полной 17-балльной шкалы; средняя при использовании 9-балльной модификации; низшая при использовании 7-балльной модификации шкалы.

При реализации методики на практике может получиться такая ситуация, что матричные оценки a_{ij}^n будут получены не по всем значениям числовой шкалы Т. Саати или группам значений по предложенным модификациям. Вероятность проявления такой ситуаций тем больше, чем меньше количество экспертов в группе. Тогда тот разрядный признак, где будет получено значение ноль, исключается из расчёта критериев Пирсона и Колмогорова–Смирнова. Это действие позволит уменьшить количество степеней свободы, уменьшить табличные значения критериев и тем самым повысить уровень согласованности управленческих решений выбора эффективных проектов за счёт увеличения разницы между эмпирическими и табличными значениями критериев, при условии доминирования первых над вторыми.

В других, дополняющих методику статьях, автор уделит внимание синтезу МАИ со следующими критериями математической статистики: Джини; Кендэла; Романовского и Ястремского; Крамера–Мизеса–Смирнова; многими другими.

В том случае, если при выполнении всех указанных действий при расчёте рассмотренных и других статистических критериев всё равно будут получены неудовлетворительные результаты в 30–50 % и более случаев по всем матричным оценкам в иерархии (-ях), то в таком случае присутствует явно выраженный конфликт интересов экспертов. Этот конфликт интересов можно измерить при помощи такого предлагаемого в методике и МАИ показателя, как уровень результирующей согласованности решений (УРСР) при помощи вербально-числовой шкалы Е. Харрингтона в сочетании с такими характеристиками, как консенсус, компромисс, конфликт средней и высшей тяжести

(табл. 4) [17].

Показатель УРСР есть своего рода альтернатива ОС в МАИ для одной или нескольких иерархий.

Если УРСР попадает в числовые характеристики 0–0,19 или 0,2–0,36 или 0,37–0,63, тогда матричные оценки a_{ij}^{ug} в МАИ для иерархии (-ий) следует признать несостоятельными из-за рассогласованности управленческих решений для выбора эффективных проектов. Поэтому следует воспользоваться следующими рекомендациями.

1. Провести общее собрание (возможно в дистанционном формате) со всеми экспертами. Суть такого мероприятия заключается в попытке обсудить существующие проблемы и найти общие точки соприкосновения, связанные с выбором эффективных проектов.

2. Дополнительно привлечь к собранию авторитетных экспертов из бизнес-среды для исполнения роли спикеров, секундентов или ведущих. Авторитеты должны иметь специально подготовленные программы-тренинги по согласованию интересов сторон.

3. Использовать другие методы математической статистики, рекомендованные в методике.

4. Если ни один из трёх пунктов не смог положительно повлиять на УРСР, то следует заменить группу экспертов и провести исследование заново. В этом случае, скорее всего, были допущены многочисленные ошибки при подборе и отборе экспертов в группу. Чтобы эти ошибки были существенно уменьшены, заказчику исследования следует придерживаться особых рекомендаций при подборе и отборе экспертов в группу. Данные рекомендации будут раскрыты в другой статье.

Сам показатель УРСР (RCSL – **resulting compatibility solution level**) предлагается рассчитывать в методике следующим образом [17]:

$$RCSL = \left(1 - \frac{\sum_{i=j=1}^{A_{hm}} \overline{a_{ij}^{ug}}}{\sum_{i=j=1}^{A_{hm}} a_{ij}^{ug}} \right), \quad (14)$$

где $\sum_{i=j=1}^{A_{hm}} \overline{a_{ij}^{ug}}$ – сумма матричных оценок из всех матриц и уровней иерархии (или иерархий), не прошедших проверку по статистическим критери-

Таблица 4

Шкала определения УРСР экспертов для МАИ и методики разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов

Шкала Е. Харрингтона		Шкала определения УРСР экспертов для МАИ и методики	
Вербальные характеристики	Числовые характеристики	Вербальные характеристики	
Очень высокая оценка	0,8–1	Консенсус	
Высокая оценка	0,64–0,79	Компромисс	
Средняя оценка	0,37–0,63	Конфликт средней тяжести	
Низкая оценка	0,2–0,36	Конфликт высшей тяжести	
Очень низкая оценка	0–0,19		

ям, баллы; $\sum_{i=j=1}^{Ahm} a_{ij}^{ug}$ – сумма матричных оценок из всех матриц и уровней иерархии (или иерархий), баллы; Ahm – принадлежность матричной оценки a_{ij}^{ug} к определённой иерархии, уровню и матрице в иерархии.

Следует напомнить, что матричные оценки a_{ij}^{ug} берутся только верхние или только нижние по отношению к диагонали матрицы (см. табл. 2).

При необходимости показатель УРСР можно вычислять для каждой иерархии, для каждого уровня в иерархии или для каждой матрицы в иерархии. Так как методика и МАИ допускает возможность использования разно-уровневых иерархий с разным количеством элементов и их содержанием, разным количеством самих иерархий.

Заключение

В данной статье раскрыты некоторые научные тезисы, которые позволили существенно расширить, исправить ошибки, преодолеть ограничения и наконец модернизировать научное знание современных отечественных и зарубежных научных трудов в области разработки и согласования управленческих решений проблемы выбора эффективных проектов:

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

2) предложен синтез МАИ с методами математической статистики для оценки согласованности экспертных суждений, выраженных в агрегированных матричных оценках через следующие критерии: Пирсона; Колмогорова–Смирнова;

3) введён новый показатель – уровень результирующей согласованности решений (УРСР) при помощи вербально-числовой шкалы Е. Харрингтона в сочетании с такими характеристиками, как консенсус, компромисс, конфликт средней и высшей тяжести.

Эти тезисы помогли сформировать ядро и определили первое фундаментальное положение методики, обладающее научной новизной для финансовой и математической науки: синтез МАИ с методами математической статистики. Это положение нуждается в дальнейшем развитии за счёт дополнительной интеграции в методику и МАИ статистических критериев Джини, Кендэла, Романовского, Ястремского, Крамера–Мизеса–Смирнова и многих других критериев для оценки согласованности отдельных экспертных и агрегированных матричных оценок в качестве дополнительных альтернатив.

Второе фундаментальное положение методики (синтез МАИ с методами теории нечётких множеств и методами математической статистики) будет раскрыто в другой публикации автора.

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

Кроме того, в будущих статьях автор планирует обогатить не только предложенную методику, но и осуществить прирост научного знания в области МАИ за счёт: использования элементов в матрице парных сравнений, у которых отсутствуют какие-либо измерения с элементами разных форм нечётких и пустых множеств, которые привязаны к измерителям и измерениям; модернизации традиционной шкалы оценивания Т. Саати для повышения степени универсальности применения МАИ в разных областях науки; поиска универсальных решений для повышения объективности процедуры попарного оценивания элементов в матрице, обладающих свойством безразличия к каким-либо измерениям и измерителям; повышения степени универсальности через процедуру конвертирования нечётких чисел разных форм в чёткие (пустые множества); разработки единых требований по формированию рабочей группы экспертов для повышения качества и эффективности использования предлагаемой методики; разработки единого алгоритма реализации методики и стандартных организационных процедур.

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

Литература

1. Алабугин, А.А. Управление развитием промышленного предприятия по показателям дисбаланса межгрупповых и организационных интересов: теория и практика: монография / А.А. Алабугин, Д.А. Шагеев. – Челябинск: Изд-во НОУВПО РБИУ, 2014. – 236 с.

2. Картвелишвили, В.М. Нечеткий метод анализа иерархий: критерии и практика / В.М. Картвелишвили, Э.А. Лебедев // Вестник Российского государственного торгово-экономического университета (РГТЭУ). – 2013. – № 9–10 (79). – С. 146–158.

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

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

5. Коробов, В.Б. Проблемы использования метода анализа иерархий и пути их решения / В.Б.

- Коробов, А.Г. Тутьгин // *Экономика и управление*. – 2016. – № 8 (130). – С. 60–65.
6. Митихин, В.Г. К вопросу о корректности использования метода анализа иерархий / В.Г. Митихин // *Наука в современном информационном обществе: материалы VI международной научно-практической конференции*. – 2015. – С. 148–154.
7. 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.
8. Путицева Н.В., Игрунова С.В., Мигаль Л.В., Тайлакова Д.С., Гурьянова И.В. Разработка программной поддержки принятия решений для выбора инвестиционных проектов // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика*. – 2015. – № 1 (198). – С. 111–117.
9. Покровский, А.М. К вопросу о корректности метода анализа иерархий в сравнительной оценке инновационных проектов / А.М. Покровский // *Экономика, статистика и информатика // Вестник УМО*. – 2012. – № 5. – С. 137–143.
10. Саати, Т.Л. Магическое число «семь» в природе / Т.Л. Саати // *Cloud of Science*. – 2017. – Т. 4, № 1. – С. 5–33.
11. Саати, Т.Л. Относительное измерение и его обобщение в принятии решений. почему парные сравнения являются ключевыми в математике для измерения неосязаемых факторов / Т.Л. Саати // *Cloud of Science*. – 2016. – Т. 3, № 2. – С. 171–262.
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 / 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. Смирнов, Н.В. Вероятности больших значений непараметрических односторонних критериев согласия // *Труды Матем. ин-та АН СССР*. – 1961. – Т. 64. – С. 185–210.
16. 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.
17. Шагеев Д.А., Перегримова И.М. Методика разработки согласованных управленческих решений распределения чистой прибыли на предприятии // *Вестник ВГУИТ*. – 2018. – Т. 80, № 3. – С. 392–415. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-3-392-415.
18. Шагеев, Д.А. Концептуальное представление методике разработки согласованных управленческих решений для выбора эффективных проектов / Д.А. Шагеев // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент»*. – 2019. – Т. 13, № 1. – С. 162–177. DOI: 10.14529/em190117.
19. Bagdonavicius V., Nikulin M.S. Chi-square goodness-of-fit test for right censored data // *The International Journal of Applied Mathematics and Statistics*. – 2011. – P. 30–50.
20. Božanić D., Pamićar D., Bojanić D. Modification of the analytic hierarchy process (AHP) method using fuzzy logic: fuzzy AHP approach as a support to the decision making process concerning engagement of the group for additional hindering // *Serbian Journal of Management*, 2015. – Vol. 10, № 2. – P. 151–171. DOI:10.5937/sjm10-7223
21. Çebi A., Karal H. An application of fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) for evaluating students' project // *Educational Research and Reviews*. – 2017. – Vol. 12(3). – P. 120–132. DOI: 10.5897/ERR2016.3065.
22. Cheng C.-H., Liou J.J.H., Chiu Ch.-Y. A Consistent Fuzzy Preference Relations Based ANP Model for R&D Project Selection // *Sustainability*. – 2017. – V. 9. – P. 1352. DOI: 10.3390/su9081352.
23. Chernoff H., Lehmann E. L. The use of maximum likelihood estimates in χ^2 test for goodness of fit // *The Annals of Mathematical Statistics*. – 1954. – Vol. 25. – P. 579–586. DOI: 10.1214/aoms/1177728726
24. Corder G.W., Foreman D.I. *Nonparametric Statistics for Non-Statisticians: A Step-by-Step Approach*. – New York: Wiley, 2009. DOI: 10.1002/9781118165881
25. Enea M. Project Selection by Constrained Fuzzy AHP // *Fuzzy Optimization and Decision Making*. – 2004. – № 3. – P. 39–62. DOI: 10.1023/b:fodm.0000013071.63614.3d
26. Greenwood P.E., Nikulin M.S. *A guide to chi-squared testing*. – New York: John Wiley & Sons, 1996. – 280 p.
27. Harker P.T. Derivatives of the Perron root of a positive reciprocal matrix: With applications to the analytic hierarchy process // *Applied Mathematics and Computation*. – 1987. – Vol. 22. – P. 217–232. DOI: 10.1023/b:fodm.0000013071.63614.3d
28. Horn R.A., Johnson C.R. *Matrix Analysis*. – New York: Cambridge University Press 1985.
29. Kolmogoroff A.N. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione // *Giornale dell' Istituto Italiano degli Attuari*. – 1933. – Vol. 4, № 1. – P. 83–91.
30. Lancaster P., Tismenetsky M. *The Theory of Matrices, second ed.* – New York: Academic Press, 1985.

31. Lilliefors H.W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown // *J. Am. Statist. Assoc.* – 1967. – V.62. – P. 399–402. DOI: 10.1080/01621459.1967.10482916
32. Mahmoodzadeh S., Shahrabi J., Pariazar M., Zaeri M.S. Project Selection by Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique // *Digital Open Science Index. International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering.* – 2007. – Vol. 1, № 6.
33. Ozdemir M., Saaty T.L. The unknown in decision making: What to do about it // *European Journal of Operational Research.* – 2006. – Vol. 174. – P. 349–359. DOI: 10.1016/j.ejor.2004.12.017
34. Pearson K. On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling // *Philosophical Magazine.* – 1900. – Series 5 50 (302). – P. 157–175. DOI: 10.1080/14786440009463897.
35. Razi F.F. A Grey-Based Fuzzy ELECTRE Model for Project Selection // *Journal of Optimization in Industrial Engineering.* – 2015. – № 17. – P. 57–66.
36. Saaty T.L., Vargas L.G. The Possibility of Group Choice // *Social Choice and Welfare.* – 2012. – Vol. 38, № 3. – P. 481–496. DOI: 10.1007/s00355-011-0541-6
37. Saaty T.L. *Principia Mathematica Decernendi: Mathematical Principles of Decision Making.* – RWS Publications, 2010.
38. Saaty T.L., Vargas L.G., Whitaker R. Addressing Criticisms of the Analytic Hierarchy Process // *International Journal of the Analytic Hierarchy Process.* – 2009. – Vol. 1, № 2. DOI: 10.13033/ijahp.v1i2.53
39. Saaty T.L., Peniwati K. *Group Decision Making.* – Pittsburgh, PA, 2008.
40. Saaty T.L., Tran L.T. On the invalidity of fuzzifying numerical judgments in the Analytic Hierarchy Process // *Mathematical and Computer Modelling.* – 2007. – Vol. 46, № 7–8. – P. 962–975. DOI: 10.1016/j.mcm.2007.03.022
41. Saaty T.L. *Fundamentals of Decision Making; the Analytic Hierarchy Process.* – Pittsburgh, PA, 2006.
42. Saaty T.L. *Theory and Applications of the Analytic Network Process.* – Pittsburgh, PA, 2005.
43. Saaty T.L., Ozdemir M.S. *The Encyclicon.* – RWS Publications, 2005.
44. Saaty T.L. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary // *European Journal of Operational Research.* – 2003. – Vol. 145, № 1. DOI: 10.1016/S0377-2217(02)00227-8.
45. Saaty T.L., Ozdemir M.S. Why the Magic Number Seven Plus or Minus Two // *Mathematical and Computer Modelling.* – 2003. – Vol. 38. – P. 233–244. DOI: 10.1016/S0895-7177(03)90083-5
46. Saaty T.L. *The Brain, Unraveling the Mystery of How it Works: The Neural Network Process.* – RWS Publications, 2000.
47. Saaty T.L., Vargas L.G. Implementing Neural Firing: Towards a New Technology // *Mathl. Comput. Modelling.* – 1997. – Vol. 26, № 4. – P. 113–124. DOI: 10.1016/S0895-7177(97)00149-0
48. Saaty T.L., Hu G. Ranking by the eigenvector versus other methods in the analytic hierarchy process // *Applied Mathematical Letters* 11 (4). – P. 121–125. DOI: 10.1016/S0893-9659(98)00068-8
49. Saaty T.L., Vargas L.G. Experiments on Rank Preservation and Reversal in Relative Measurement // *Mathl. Comput. Modelling.* – 1993. – Vol. 17, № 4/5. – P. 13–18. DOI: 10.1016/0895-7177(93)90171-t
50. Saaty T.L., Vargas L. Inconsistency and rank preservation // *Journal of Mathematical Psychology.* – 1984. – Vol. 28 (2). DOI: 10.1016/0022-2496(84)90027-0
51. Salehi M. Fuzzy multi-objective project selection problem using additive weighted fuzzy programming // *Industrial Engineering Frontiers Letters.* – 2018. – № 1. – P. 38–44.
52. Tavana M., Keramatpour M., Santos-Arteaga F.J., Ghorbaniane E. A fuzzy hybrid project portfolio selection method using Data Envelopment Analysis, TOPSIS and Integer Programming // *Expert Systems With Applications.* – 2015. – № 42. – P. 8432–8444. DOI: 10.1016/j.eswa.2015.06.057.

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

Поступила в редакцию 9 апреля 2019 г.

METHODS OF DEVELOPMENT OF COORDINATED MANAGERIAL DECISIONS FOR SELECTION OF EFFICIENT PROJECTS. PART 1

D.A. Shageev

International Institute of Design and Service, Chelyabinsk, Russian Federation

Results of an in-depth analysis of research papers allowed revealing some problems (limitations, shortcomings and contradictions), on the basis of which the direction of further development of financial management regarding selection of efficient projects has been determined. A new technique for development of coordinated managerial decisions for selection of efficient projects has been proposed within the limits of the determined direction. The technique contains two fundamental premises which possess the scientific novelty for financial and mathematical sciences: a synthesis of the analytic hierarchy process (AHP) with the methods of mathematical statistics; a synthesis of the AHP with the fuzzy sets theory methods and mathematical statistics methods.

The obtained in-depth analysis results have allowed for not just formulating the new technique but also upgrade the classical AHP representation by T. Saaty in order to correct shortcomings, contradictions and limitations regarding the following: replacement or supplementation of the ratio of consistency of grades in the pairwise comparison matrix by criteria of mathematical statistics; expansion and specification of T. Saaty's expert judgement scale; proposal of a new level of resultant decision conformity (LRDC) measured with the use of the verbal-numerical Harrington scale in combination with such characteristics as consensus, compromise, mid-intensity or high-intensity conflict; assignment of weight categories for the experts, taking into account some special requirements.

The upgraded AHP version will help solving various theoretical and practical problems of multi-criteria choice in different spheres of science with high universality and flexibility degree. Development potential of the technique and the AHP has been determined in the end of the article.

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

References

1. Alabugin A.A., Shageev D.A. *Upravlenye razvitiyem promyshlennogo predpiyatiya po pokazatelyam disbalansa mezhhruppovykh i organizatsionnykh interesov: teoriya i praktika*. [Management of Industrial Enterprise Development by the Disbalance Indices of Group and Organization Interests: Theory and Practices]. Chelyabinsk, RBIM, 2014. 236 p.
2. Kartvelishvili V.M., Lebedyuk Eh.A. [Fuzzy hierarchy analysis: criteria and practice]. *Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo torgovo-ehkonomicheskogo universiteta (RGTEHU)* [Bulletin of the Russian State University of Trade and Economics (RSUTE)], 2013, no. 9–10 (79), pp. 146–158. (in Russ.)
3. Kartvelishvili V.M., Lebedyuk Eh.A. [The method of hierarchy analysis: criteria and practice]. *Vestnik Rossijskogo ehkonomicheskogo universiteta im. G.V. Plekhanova* [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics], 2013, no. 6(60), pp. 97–112. (in Russ.)
4. Kurchik A.M. [Multi-Criteria Selection of Projects in Mineral Resources Sector with the Help of Analytical Hierarchy Method]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologia i razvedka* [Journal of Higher Educational Institutions. Geology and Prospecting], 2012, no. 3, pp. 73–78. (in Russ.)
5. Korobov V.B., Tutygin A.G. [Problems of using the method of hierarchy analysis and ways to solve them]. *Ekonomika i upravlenie* [Economics & management], 2016, no. 8 (130), pp. 60–65. (in Russ.)
6. Mitihin V.G. [On the question of the correctness of the use of the method of analysis of hierarchies]. *Nauka v sovremennom informacionnom obshchestve. Materialy VI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Science in the modern information society. Materials of the VI international scientific-practical conference], 2015, pp. 148–154. (in Russ.)
7. Podinovskaya O.V., Podinovskiy V.V. [Analysis of hierarchical multicriteria problems of decision-making methods of the theory of the importance of criteria]. *Problemy upravleniya* [Management Problem], 2014, no. 6, pp. 2–8. (in Russ.)
8. Putivtseva N.V., Igrunova S.V., Migal' L.V., Taylakova D.S., Guryanova I.V. [Development of Program Support for Decision Making in Investment Project Selection]. *Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Ekonomika. Informatika* [Scientific Journal of Belgorod State University. Series: Economics. Informatics], 2015, no. 1 (198), pp. 111–117. (in Russ.)

9. Pokrovskiy A.M. [On the question of the correctness of the method of analysis of hierarchies in the comparative evaluation of innovative projects]. *Ekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO* [Economics, statistics and Informatics. Bulletin of UMO], 2012, no. 5, pp. 137–143. (in Russ.)
10. Saati T.L. [The magic number “seven” in nature]. *Cloud of Science*, 2017, vol. 4, no. 1, pp. 5–33. (in Russ.)
11. Saati T.L. [Relative measurement and its generalization in decision-making. why pairwise comparisons are Central to mathematics to measure intangible factors]. *Cloud of Science*, 2016, vol. 3, no. 2, pp. 171–262. (in Russ.)
12. Saati T.L. [On the measurement of the intangible. an approach to relative measurements based on the main eigenvector of the pair comparison matrix]. *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, Radio i sviaz' Publ., 1993. 278 p.
15. Smirnov N.V. [Probabilities of large values of nonparametric one-way goodness-of-fit criteria]. *Trudy Matematicheskogo instituta Akademii Nauk SSSR* [Proceedings of the Mathematical Institute of the USSR Academy of Sciences], 1961, vol. 64, pp. 185–210. (in Russ.)
16. 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.)
17. 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 Russ.) DOI: 10.20914/2310-1202-2018-3-392-415.
18. Shageev D.A. [Conceptual Presentation of the Technique of Developing Coordinated Management Decisions on Selection of Efficient Projects]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2019, vol. 13, no. 1, pp. 162–177. (in Russ.). DOI: 10.14529/em190117
19. Bagdonavicius V., Nikulin M.S. [Chi-square goodness-of-fit test for right censored data]. *The International Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 2011, pp. 30–50.
20. Božanić D., Pamučar D., Bojanić D. Modification of the analytic hierarchy process (AHP) method using fuzzy logic: fuzzy AHP approach as a support to the decision making process concerning engagement of the group for additional hindering. *Serbian Journal of Management*, 2015, vol. 10, no. 2, pp. 151–171. DOI:10.5937/sjm10-7223.
21. Çebi A., Karal H. An application of fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) for evaluating students' project. *Educational Research and Reviews*, 2017, vol. 12(3), pp. 120–132. DOI: 10.5897/ERR2016.3065.
22. Cheng C.-H., Liou J.J.H., Chiu Ch.-Y. A Consistent Fuzzy Preference Relations Based ANP Model for R&D Project Selection. *Sustainability*, 2017, vol. 9, p. 1352. DOI:10.3390/su9081352.
23. Chernoff H., Lehmann E. L. The use of maximum likelihood estimates in χ^2 test for goodness of fit. *The Annals of Mathematical Statistics*, 1954, vol. 25, pp. 579–586. DOI: 10.1214/aoms/1177728726
24. Corder G.W., Foreman D.I. *Nonparametric Statistics for Non-Statisticians: A Step-by-Step Approach*. New York: Wiley, 2009. DOI: 10.1002/9781118165881
25. Enea M. Project Selection by Constrained Fuzzy AHP. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 2004, no. 3, pp. 39–62. DOI: 10.1023/b:fodm.0000013071.63614.3d
26. Greenwood P.E., Nikulin M.S. *A guide to chi-squared testing*. New York: John Wiley & Sons, 1996. 280 p.
27. Harker P.T. Derivatives of the Perron root of a positive reciprocal matrix: With applications to the analytic hierarchy process. *Applied Mathematics and Computation*, 1987, vol. 22, pp. 217–232. DOI: 10.1023/b:fodm.0000013071.63614.3d
28. Horn R.A., Johnson C.R. *Matrix Analysis*. New York, Cambridge University Press 1985.
29. Kolmogoroff A.N. Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. *Giornale dell' Istituto Italiano degli Attuari*, 1933, vol. 4, no. 1, pp. 83–91.
30. Lancaster P., Tismenetsky M. *The Theory of Matrices*. 2nd ed. New York, Academic Press, 1985.
31. Lilliefors H.W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *J. Am. Statist. Assoc.*, 1967, vol.62, pp. 399–402. DOI: 10.1080/01621459.1967.10482916
32. Mahmoodzadeh S., Shahrabi J., Pariazar M., Zaeri M.S. Project Selection by Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique. *Digital Open Science Index. International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, 2007, vol. 1, no. 6.

33. Ozdemir M., Saaty T.L. The unknown in decision making: What to do about it. *European Journal of Operational Research*, 2006, vol. 174, pp. 349–359. DOI: 10.1016/j.ejor.2004.12.017
34. Pearson K. On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. *Philosophical Magazine*, Series 5, 1900, vol. 50 (302), pp. 157–175. DOI: 10.1080/14786440009463897.
35. Razi F.F. A Grey-Based Fuzzy ELECTRE Model for Project Selection. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 2015, no. 17, pp. 57–66.
36. Saaty T.L., Vargas L.G. The Possibility Of Group Choice. *Social Choice and Welfare*, 2012, vol. 38, no. 3, pp. 481–496. DOI: 10.1007/s00355-011-0541-6
37. Saaty T.L. *Principia Mathematica Decernendi: Mathematical Principles of Decision Making*. RWS Publications, 2010.
38. Saaty T.L., Vargas L.G., Whitaker R. Addressing Criticisms of the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 2009, vol. 1, no. 2. DOI: 10.13033/ijahp.v1i2.53
39. Saaty T.L., Peniwati K. *Group Decision Making*. Pittsburgh, PA, 2008.
40. Saaty T.L., Tran L.T. On the invalidity of fuzzifying numerical judgments in the Analytic Hierarchy Process. *Mathematical and Computer Modelling*, 2007, vol. 46, no. 7–8, pp. 962–975. DOI: 10.1016/j.mcm.2007.03.022
41. Saaty T.L. *Fundamentals of Decision Making; the Analytic Hierarchy Process*. Pittsburgh, PA, 2006.
42. Saaty T.L. *Theory and Applications of the Analytic Network Process*. Pittsburgh, PA, 2005.
43. Saaty T.L., Ozdemir M.S. *The Encyclicon*. RWS Publications, 2005.
44. Saaty T.L. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research*, 2003, vol. 145, no. 1. DOI: 10.1016/S0377-2217(02)00227-8.
45. Saaty T.L., Ozdemir M.S. 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
46. Saaty T.L. *The Brain, Unraveling the Mystery of How it Works: The Neural Network Process*. RWS Publications, 2000.
47. Saaty T.L., Vargas L.G. Implementing Neural Firing: Towards a New Technology. *Mathl. Comput. Modelling*, 1997, vol. 26, no. 4, pp. 113–124. DOI: 10.1016/s0895-7177(97)00149-0
48. Saaty T.L., Hu G. Ranking by the eigenvector versus other methods in the analytic hierarchy process. *Applied Mathematical*, 1998, Letters 11 (4), pp. 121–125. DOI: 10.1016/S0893-9659(98)00068-8
49. Saaty T.L., Vargas L.G. Experiments on Rank Preservation and Reversal in Relative Measurement. *Mathl. Comput. Modelling*, 1993, vol. 17, no. 4/5, pp. 13–18. DOI: 10.1016/0895-7177(93)90171-t
50. Saaty T.L., Vargas L. Inconsistency and rank preservation. *Journal of Mathematical Psychology*, 1984, vol. 28 (2). DOI: 10.1016/0022-2496(84)90027-0
51. Salehi M. Fuzzy multi-objective project selection problem using additive weighted fuzzy programming. *Industrial Engineering Frontiers Letters*, 2018, no. 1, pp. 38–44.
52. Taviana M., Keramatpour M., Santos-Arteaga F.J., Ghorbaniane E. A fuzzy hybrid project portfolio selection method using Data Envelopment Analysis, TOPSIS and Integer Programming. *Expert Systems With Applications*, 2015, no. 42, pp. 8432–8444. DOI: 10.1016/j.eswa.2015.06.057.

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

Received April 9, 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

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

FOR CITATION

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