

Создание систем поддержки принятия решений: интеграция преимуществ отдельных подходов

Аннотация. В данной статье предпринята попытка интеграции преимуществ отдельных подходов к созданию систем поддержки принятия решений: экспертной системы поддержки принятия решений и систем, использующих метод анализа иерархий Т.Л. Саати.

Ключевые слова: системы поддержки принятия решений, метод анализа иерархий (МАИ), экспертная система поддержки принятия решений

Введение

Современные системы поддержки принятия решения (СППР) являются инструментом, призванным оказать помощь лицу, принимающему решение (ЛПР). С помощью СППР может производиться выбор эффективных вариантов решений для неструктурированных и плохо структурированных задач [1]. Развитие существующих СППР представляет собой особый интерес, поскольку позволяет улучшить качество управленческих решений.

Большая часть известных СППР в качестве теоретической основы использует метод анализа иерархий (МАИ) Т.Л. Саати, широко применяемый в практике принятия решений [3]. К их числу относятся системы *Expert Choice*, *Super Decisions*, *Decision Lens (Decision Lens Web)*, СППР «Эксперт», СППР *Выбор 5.3* [5].

В отличие от систем, в основе которых лежит только один метод принятия решений, коллективом кафедры бизнес-аналитики факультета бизнес-информатики НИУ–ВШЭ была разработана экспертная система поддержки принятия решений (ЭСППР), одной из ключевых особенностей которой является использование около 50 математических методов принятия решений, описанных в рамках общей терминологии [2].

В данной статье предпринята попытка интеграции преимуществ СППР, основанных на МАИ и ЭСППР.

1. Особенности ЭСППР

Функциональная структура ЭСППР включает в себя модули: интерактивного общения с пользователем, выбора метода принятия решения, принятия решений, оперативного анализа и генерации отчетности, извлечения знаний. Модуль принятия решений содержит методы принятия решений с использованием принципов большинства, Парето, Байеса, методы принятия решений в условиях полной неопределенности, в динамической постановке, методы многоцелевой (векторной) оптимизации, а также комбинированные методы, сочетающие различные принципы согласования оценок альтернатив [4].

Выделим отличительные особенности ЭСППР:

- включает методы принятия решений в условиях неопределенности и риска, предусматривающие моделирование проблемных ситуаций принятия решений;
- содержит базу знаний: набор правил выбора соответствующих моделей и методов принятия решений для обоснования альтернатив в зависимости от конкретной реализации условий принятия решения;
- осуществляет процедуру поиска метода принятия решения путем выбора пользователем ответа (из предлагаемого набора ответов) на вопросы, задаваемые Системой, об элементах задачи принятия решения;

- дает возможность не только выбрать метод принятия решения для конкретной задачи, но и обеспечивает ее практическое решение на основе этого метода;

- содержит базу данных для хранения информации, необходимой для проведения расчетов; описания задач и методов принятия решений; формирования отчетов; поддержки многоязычного интерфейса, добавления новых методов принятия решений без изменения программного кода системы;

- не является проблемно-ориентированной: на основе ЭСППР может быть решена задача принятия решения из любой проблемной области;

- обеспечивает коллегиальность в принятии решений, позволяя обосновывать варианты решений на основе консолидации мнений экспертов;

- автоматизирует процедуру формирования отчетов о вариантах решения задачи на основе реляционной базы данных;

- проводит многомерный анализ решаемых задач и формирование аналитических отчетов с использованием OLAP-сервера;

- обеспечивает доступ конечных пользователей к системе с применением технологии «Тонкий клиент» (через интернет-браузер и web-сервер).

Представим некоторые направления развития ЭСППР с учетом преимуществ СППР, основанных на МАИ (Табл. 1).

Табл. 1. Направления развития ЭСППР

№	Характеристики элементов задачи принятия решения	Реализация в ЭСППР	Предложения по доработке ЭСППР
1.	Информированность ЛПР об условиях принятия решения	Предусматривается возможность моделирования условий принятия решений в виде альтернативных проблемных ситуаций. Оценки достоверности появления проблемных ситуаций задаются экспертно в количественной или порядковой шкале	Вероятности появления проблемных ситуаций рассчитываются, используя МАИ
2	Способы задания и оценки предпочтительности альтернатив:		
2.1.	Способы задания предпочтений на множестве альтернатив	В ЭСППР множество альтернатив может быть конечным или представлено в виде подмножества n-мерного пространства. Чтобы избежать проблем с транзитивностью, предпочтения задаются только в количественной или порядковой шкале.	Предпочтения ЛПР задаются в виде матриц попарных сравнений альтернатив по каждому признаку в девятибалльной шкале Т.Л. Саати
2.2.	Принципы согласования оценок альтернатив по различным признакам	Принципы согласования оценок альтернатив по различным признакам, используемые в СППР: принцип большинства, принцип Парето, принцип последовательного рассмотрения критериев.	Дополнение множества принципов согласования оценок альтернатив, а именно, включение принципа Т.Л. Саати.
2.3.	Способы задания относительной значимости признаков (критериев).	В ЭСППР коэффициенты относительной значимости признаков задаются экспертно в 10- или 100-балльной шкале.	Расчет коэффициентов относительной значимости признаков с использованием МАИ.
2.4.	Проверка согласованности оценок альтернатив по отдельным признакам	В ЭСППР отсутствует проверка согласованности оценок альтернатив по отдельным признакам	Включение в ЭСППР проверки согласованности оценок альтернатив по отдельным признакам по аналогии с СППР, использующими МАИ.
3.	Организация работы с экспертами:		
3.1.	Учет коэффициентов компетентности экспертов	В ЭСППР коэффициенты компетентности экспертов задаются в 10- или 100-балльной шкале.	Расчет коэффициентов компетентности экспертов с применением МАИ.
3.2.	Принципы согласования оценок экспертов.	Использование в ЭСППР принципов большинства и Парето для согласования оценок экспертов.	Использование среднего геометрического для усреднения мнений экспертов по аналогии с СППР, основанными на МАИ.

2. Метод анализа иерархий

Назначение МАИ. МАИ широко применяется в задачах многокритериального принятия решений, стратегического планирования, распределения ресурсов, прогнозирования, разрешения конфликтов. Применяя МАИ для моделирования задач принятия решения, необходимо построить иерархическую структуру с целью принятия решения на вершине, уровне критериев (при необходимости, с нужным количеством уровней подкритериев) и уровнем альтернатив. Далее, попарно сравнивая элементы данной структуры, сформировать матрицы попарных сравнений, из которых можно получить векторы коэффициентов относительной значимости указанных элементов [3].

Особенности МАИ. Анализируя МАИ и основанные на данном методе СППР, можно выделить следующие их преимущества:

1. *Способ задания предпочтений на множестве сущностей.* В МАИ предложен оригинальный подход к заданию предпочтений на множестве альтернатив в виде обратно симметричных матриц попарных сравнений элементов в девятибалльной шкале. В виде матриц попарных сравнений можно задавать предпочтения не только на множестве альтернатив, но и на множестве других сущностей: признаков, экспертов, проблемных ситуаций.

2. *Способ определения степени согласованности входных данных.* В случае если предпочтения каких-либо сущностей (альтернатив, признаков, экспертов или проблемных ситуаций) заданы в виде обратно симметричных матриц попарных сравнений элементов в девятибалльной шкале, можно использовать алгоритм вычисления коэффициентов согласованности входных данных по аналогии с СППР, основанными на МАИ.

3. *Принцип согласования оценок альтернатив по различным признакам.* МАИ предусматривает оригинальный способ согласования оценок альтернатив по различным признакам, учитывая построенную иерархическую структуру: цель, критерии, подкритерии, альтернативы [3]. В литературе встречаются следующие названия данного способа: «линейная свертка», «синтез локальных приоритетов», «суперпозиция». Для увязки с терминологией ЭСППР будем называть этот принцип согласования оценок альтернатив принципом Т.Л. Саати.

3. Развитие ЭСППР с учетом преимуществ СППР, основанных на МАИ

3.1. Доработка системы вопросов и ответов ЭСППР

Выбор отдельных методов принятия решений в ЭСППР осуществляется по результатам ответов пользователя на вопросы об условиях принятия решения (Табл. 2).

Для включения новых методов в ЭСППР (в нашем случае, методов, использующих преимущества МАИ и соответствующих СППР), необходимо переработать существующую в системе цепочку вопросов/ответов.

В частности, может быть предложена следующая модификация вопросов и ответов.

Вопрос 1. Информированность об условиях принятия решения.

Добавляется вариант ответа 7:

Несколько проблемных ситуаций, вероятности появления которых рассчитываются, используя МАИ.

Контекстная подсказка к варианту 7 на первый вопрос:

Вероятности появления проблемных ситуаций рассчитываются путем вычисления собственного вектора матрицы попарных сравнений, в которой сравнивается относительная достоверность появления каждой пары проблемных ситуаций по девятибалльной шкале Т.Л. Саати.

Вопрос 10. Принципы согласования оценок альтернатив по отдельным критериям (признакам).

Добавляется вариант ответа 5:

Принцип Т.Л. Саати.

Контекстная подсказка к варианту ответа 5 на десятый вопрос:

В соответствии с принципом Т.Л. Саати один вариант предпочтается другому, если по результатам суперпозиции оценок альтернатив по всем признакам (критериям) первый вариант имеет больший итоговый коэффициент, чем второй. Оценки альтернатив по отдельным признакам (критериям) формируются путем вычисления собственных векторов из матриц попарных сравнений альтернатив в разрезах признаков (критериев).

Вопрос 11. Способ задания оценок относительной значимости критериев.

Добавляется вариант ответа 3:

Коэффициенты относительной значимости рассчитываются, используя МАИ.

Контекстная подсказка к варианту 3 на одиннадцатый вопрос:

Относительная значимость отдельных признаков (критериев) рассчитывается путем вы-

числения собственного вектора матрицы парных сравнений относительной важности признаков (критериев), заданной по девяти-балльной шкале Т.Л. Саати.

Вопрос 13. Способ задания предпочтений на множестве вариантов решения (альтернатив).

Табл. 2. Вопросы об элементах задачи принятия решения и их различные реализации (ответы)

№	Условия принятия решения (вопросы)	Номер ответа	Возможные реализации условий (варианты ответов)
1.	Информированность об условиях принятия решения	1. 2. 3. 4. 5. 6.	1. Одна проблемная ситуация 2. Несколько проблемных ситуаций с неизвестными вероятностями их появления 3. Несколько проблемных ситуаций с заданными вероятностями их появления 4. Несколько ненаблюдаемых проблемных ситуаций с заданными вероятностями их появления и вероятностями их взаимосвязи с наблюдаемыми событиями, им присущими 5. Несколько проблемных ситуаций, упорядоченных по степени достоверности их появления 6. На первом этапе решения задачи имеется несколько проблемных ситуаций с неизвестными вероятностями их появления, на втором этапе – несколько проблемных ситуаций, вероятности которых ЛПР может оценить
2.	Принцип согласования оценок альтернатив в различных проблемных ситуациях с заданными вероятностями их появления	1. 2.	1. Принцип большинства 2. Принцип Байеса
3.	Принцип согласования оценок альтернатив в различных проблемных ситуациях с неизвестными вероятностями их появления	1. 2. 3. 4. 5. 6. 7.	1. Принцип Парето 2. Принцип пессимизма 3. Принцип оптимизма 4. Принцип Гурвица 5. Принцип антагонистического игрока 6. Принцип Сэвидж 7. Принцип Лапласа
4.	Принцип согласования оценок альтернатив в различных проблемных ситуациях при решении задачи принятия решения в два этапа	1.	На первом этапе для согласования оценок альтернатив в различных проблемных ситуациях применяется принцип Парето, на втором этапе – принцип большинства
5.	Информированность о последствиях принимаемого решения	1. 2. 3.	1. Полная определенность на одном этапе 2. Частичная неопределенность на конечном множестве дискретных этапов 3. Частичная неопределенность на бесконечном множестве дискретных этапов
6.	Количество экспертов, привлекаемых к решению задачи	1. 2.	1. Один эксперт 2. Несколько экспертов
7.	Принцип согласования оценок альтернатив, заданных отдельными экспертами	1. 2. 3.	1. Принцип большинства 2. Принцип Парето 3. На первом этапе решения задачи для согласования оценок альтернатив с позиций различных экспертов применяется принцип Парето, на втором этапе – принцип большинства
8.	Количество критериев (признаков) оценки альтернатив	1. 2.	1. Один критерий 2. Несколько критериев
9.	Степень сравнимости критериев	1. 2.	1. Критерии несравнимы 2. Критерии сравнимы
10.	Принципы согласования оценок альтернатив по отдельным критериям (признакам)	1. 2. 3. 4.	1. Принцип большинства 2. Принцип Парето 3. Принцип последовательного рассмотрения критериев 4. Решение задачи в два этапа: на первом этапе для согласования оценок альтернатив с позиций различных критериев (признаков) применяется принцип Парето, на втором этапе – большинства.
11.	Способ задания оценок относительной значимости критериев	1. 2.	1. Заданы веса критериев (признаков) 2. Критерии (признаки) упорядочены по значимости
12.	Способ задания множества альтернатив	1. 2.	1. Множество альтернатив конечно 2. Множество альтернатив представлено в виде подмножества n-мерного пространства
13.	Способ задания предпочтений на множестве альтернатив	1. 2.	1. Заданы количественные оценки альтернатив по каждому критерию (признаку) 2. Заданы порядковые оценки альтернатив по каждому критерию (признаку)

Добавляется вариант ответа 3:

Предпочтения альтернатив задаются по каждому признаку в виде матрицы попарных сравнений альтернатив в 9- балльной шкале Т.Л. Саати.

Контекстная подсказка к варианту ответа 3 на тринадцатый вопрос:

Эксперт задает набор матриц попарных сравнений альтернатив по каждому признаку в девятибалльной шкале Т.Л. Саати.

3.2. Развитие базы знаний ЭСППР

Базу знаний ЭСППР формирует набор правил принятия решений. Каждое правило решения включает в себя конкретную совокупность ответов на вопросы, задаваемые системой, и соответствующий метод принятия решения.

Изменение цепочки вопросов/ответов ЭСППР потребует разработки новых методов принятия решения (в нашем случае, методов, использующих преимущества МАИ и соответствующих СППР).

Опишем в терминах ЭСППР некоторые алгоритмические модули, которые могут использоваться в дальнейшем.

1. *Способ задания предпочтений на множестве сущностей.* Приведем описание способа задания предпочтений на множестве альтернатив. Предпочтения на множестве других сущностей (признаков, экспертов, проблемных ситуаций) будут описываться по аналогии.

Условные обозначения:

- $X_i = (X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_l), i = 1 - I$ – альтернативы (варианты решения);
- $l = (1, \dots, L)$ – признаки;
- F_{ikl} – элементы матриц попарных сравнений предпочтительности альтернатив по различным признакам в шкале Т.Л. Саати, где $i, k = 1 - I; l = 1 - L$.

Способ задания предпочтений: для каждого l -признака формируется матрица предпочтений альтернатив с элементами F_{ikl} , в которой сопоставляется качество i и k - альтернатив. Связь оценок F_{ikl} и F_{kil} выражается отношением: $F_{kil} = 1/F_{ikl}$. Попарные сравнения осуществляются по девятибалльной шкале предпочтений Т.Л. Саати, состоящей из следующих возможных оценок: $\{1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$. Содержательная трактовка

Табл. 3. Смысловое содержание оценок альтернатив в шкале Т.Л. Саати

Величина оценки	Смысловое содержание оценок альтернатив
1	Альтернативы признаются равноценными
2	Между равноценностью и незначительным предпочтением
3	Незначительное предпочтение
4	Между умеренным и средним предпочтением
5	Среднее предпочтение
6	Между средним и сильным предпочтением
7	Сильное предпочтение
8	Между сильным и полным предпочтением
9	Полное предпочтение

оценок для попарного сравнения альтернатив приведена в Табл. 3.

2. *Вычисление вектора коэффициентов альтернатив* на основе матриц попарных сравнений альтернатив по каждому признаку (аналогично и для других сущностей: признаки, проблемные ситуации, эксперты) можно выполнить по принципу Т.Л. Саати.

Приведем соответствующий алгоритм: для матрицы попарных сравнений альтернатив по какому-либо l -признаку F_{ikl} вычисляется собственный вектор E_l [8], соответствующий максимальному собственному значению матрицы. Общий вид для вычисления собственного вектора (из определения собственного вектора) [7]:

$$F_{ikl} E_l = \lambda_{\max l} E_l,$$

где $\lambda_{\max l}$ – максимальное собственное значение матрицы попарных сравнений, E_l – собственный вектор матрицы попарных сравнений.

Далее элементы полученного вектора преобразуются согласно следующему правилу:

$$E_{il} = \frac{E_{il}}{\sum_i E_{il}},$$

где $E_l = (E_{1l}, \dots, E_{il}, \dots, E_{Il})$ – вектор искомых коэффициентов.

3. *Способ определения степени согласованности входных данных.* Для любой матрицы суждений, сформированной методом попарных сравнений, можно вычислить отношение согласованности. Приведем универсальный алгоритм [3].

Вычисляется индекс согласованности $C.I.$:

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1},$$

где n – размерность матрицы, λ_{\max} – ее максимальное собственное значение.

Далее, используя полученный индекс согласованности $C.I.$, а также заданную матрицу случайных индексов согласованности $R.I.$ (Табл.4) [3], вычисляется отношение согласованности $C.R.$:

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.},$$

Исходя из определения абсолютно согласованной матрицы, $\lambda_{\max} = L$, следовательно, $C.R. = 0$. Приемлемые значения отношения согласованности $C.R.$ для не абсолютно согласованных матриц приведены в Табл.5.

3.3. Модификация методов принятия решений, входящих в состав ЭСПР, на основе МАИ

Приведем алгоритм метода принятия решения, входящего в состав ЭСПР, который для согласования оценок альтернатив, заданных по различным признакам отдельными экспертами в порядковой шкале, использует принцип большинства, а для согласования оценок альтернатив, заданных в различных ситуациях, принцип пессимизма — $PUR, WALDPOR$.

Условные обозначения:

$S = (S_1, S_2, \dots, S_j, \dots, S_J)$, $j = 1 \dots J$ — наблюдаемые проблемные ситуации;

$X = (X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_I)$, $i = 1 \dots I$ — альтернативы;

Z_l — коэффициент относительной значимости l -признака, $l = 1 \dots L$;

W_d — коэффициент компетентности d -эксперта, $d = 1 \dots D$;

F_{ildj} , $i = 1 \dots I$, $l = 1 \dots L$, $d = 1 \dots D$, $j = 1 \dots J$, — элементы матриц предпочтений в порядковой шкале;

B_{ikj} — элементы обобщенной матрицы в j -ситуации, построенной с использованием принципа большинства для усреднения оценок альтернатив, заданных экспертами по отдельным признакам;

Y_{ikj}^* — элементы медианной матрицы в j -ситуации;

a_{ij} — коэффициенты, в соответствии с которыми упорядочиваются варианты решения в j -ситуации;

F_{ij} — матрица ранжировок, построенная с использованием принципа большинства в результате усреднения оценок альтернатив отдельными экспертами по различным признакам;

Y_{ikj} — элементы матрицы парных сравнений, построенной на основе j -ранжировки;

E_{ij} — коэффициенты решений;

$K = \max_i \min_j E_{ij}$. — критерий пессимизма;

Исходные данные задачи задаются в виде:

- матриц предпочтений с элементами F_{ildj} , заданных с позиций l -признака d -экспертом в j -проблемной ситуации на X_i -альтернативе в порядковой шкале, $i = 1, 2, \dots, I$; $l = 1, 2, \dots, L$; $d = 1, 2, \dots, D$; $j = 1, 2, \dots, J$;

- коэффициентов относительной значимости признаков Z_l . $\sum_{l=1}^L Z_l = 1$;

Табл. 4. Случайные индексы согласованности в зависимости от размерности матрицы

Порядок матрицы суждений n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайный индекс согласованности $R.I.$	0	0	0.52	0.89	1.1	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4

Табл. 5. Приемлемые значения отношения согласованности в зависимости от размерности матрицы

Порядок матрицы n	3	4	$L \geq 4$
Приемлемое значение отношения согласованности $C.R.$	$C.R. \leq 0.05$	$C.R. \leq 0.08$	$C.R. \leq 0.10$

- коэффициентов компетентности экспертов W_d ; $\sum_{d=1}^D W_d = 1$.

Алгоритм решения задачи:

1. Формируются исходные данные задачи.
2. В каждой j -ситуации формируются матрицы парных сравнений с элементами Y_{ikldj} , в которых сопоставляется качество i - и k -альтернатив по l -признаку d -экспертом. Связь оценок F_{ildj} и Y_{ikldj} выражается отношением: $Y_{ikldj} = 1$, если $F_{ildj} \leq F_{kldj}$, и $Y_{ikldj} = 0$, если $F_{ildj} > F_{kldj}$, $i, k = 1, 2, \dots, I$; $l = 1, 2, \dots, L$; $j = 1, 2, \dots, J$; $d = 1, 2, \dots, D$.

3. Рассчитываются обобщенные матрицы B_{ikj} в каждой j -ситуации:

$$B_{ikj} = \sum_{l=1}^L \sum_{d=1}^D Z_l \cdot W_d \cdot Y_{ikldj}.$$

4. В соответствии с принципом большинства строятся медианные матрицы в каждой j -ситуации с элементами Y_{ikj}^* :

$$Y_{ikj}^* = 1 \text{ при } B_{ikj} \geq 0,5 \text{ и } Y_{ikj}^* = 0 \text{ при } B_{ikj} < 0,5.$$

5. В каждой j -ситуации варианты решения упорядочиваются в соответствии с величиной коэффициентов решений a_{ij} :

$$a_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^I Y_{ikj}^*}{\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^I Y_{ikj}^*}.$$

6. Формируется матрица предпочтений F_{ij} , состоящая из ранжировок вариантов решения в j -ситуациях в соответствии с величиной коэффициентов решений a_{ij} , $j = 1 \dots J$.

7. Для каждой j -ситуации на основе соответствующей ранжировки строится матрица парных сравнений с элементами Y_{ikj} по формуле:

$$Y_{ikj} = \begin{cases} 1 \text{ при } F_{ij} \leq F_{kj} \\ 0 \text{ при } F_{ij} > F_{kj} \end{cases}.$$

8. Формируются коэффициенты решений E_{ij} :

$$E_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^I Y_{ikj}}{\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^I Y_{ikj}}.$$

9. Оптимальным считается вариант решения, определяемый критерием пессимизма:

$$K = \max_i \min_j E_{ij}.$$

В данном методе принятия решения коэффициенты относительной значимости признаков Z_l и коэффициенты компетентности экспертов W_d задаются экспертно в 10- или 100-балльной шкале, а затем нормируются. Приведенный метод может быть модифицирован с помощью алгоритмических модулей, рассмотренных выше. Другими словами, эти коэффициенты могут быть рассчитаны с помощью МАИ.

Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать вывод о возможности создания комбинированных методов принятия решений на основе синтеза МАИ и методов, входящих в состав ЭСППР. Подобный синтез можно осуществить путем комбинации различных алгоритмических модулей, в том числе тех, которые выделены в статье. Необходимость разработки новых методов принятия решений и современных СППР обусловлена потребностями ЛПР принимать эффективные решения, основанные на мнениях нескольких экспертов, а также учитывать влияние внешней среды при принятии сложных управленческих решений.

Литература

1. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах. М.: Логос, 2000.
2. Кравченко Т.К. и т.д. Информатизация принятия экономических решений. Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. 2008. № 9. С. 46—55.
3. Саати Т.Л. Принятие решений - Метод Анализа Иерархий. М.: Радио и Связь. 1993.
4. Информационная система ЭСППР. Руководство пользователя. Колл. авторов под рук. Кравченко Т.К.. 2007.
5. Кравченко Т.К., Середенко Н.Н. Выделение признаков классификации систем поддержки принятия решений. // Открытое образование. 2010. № 4. С. 71—78.

6. Кравченко Т.К. Разработка комбинированных методов принятия решений с использованием различных принципов согласования оценок вариантов решений. // Научные труды 1-ой Международной конференции по бизнес—информатике. 2007.
7. Гантмахер Ф.П. Теория матриц. М.: Наука. 1966.
8. Saaty T.L. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary// European Journal of Operational Research. 145 (1). 2003.

Кравченко Татьяна Константиновна. Заведующая кафедрой бизнес-аналитики НИУ – ВШЭ. Окончила Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова в 1969 году. Доктор экономических наук, профессор. Область научных интересов: системы поддержки принятия решений, методы принятия решений, информационно-аналитические системы. E-mail: krawchenko@yandex.ru

Середенко Наталья Николаевна. Аспирантка НИУ – ВШЭ. Окончила Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова в 2005 году. E-mail: alia_nata@mail.ru