



ОБ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Д.Г. ФУРЦЕВ
А.Н. КОВАЛЕНКО
Е.А. ТКАЧЕНКО

*Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет*

e-mail:
dfurtsev@gmail.com

В работе рассматривается возможность оптимизации расчетов с использованием метода анализа иерархий. Разработан новый метод оценки и приведены требования к нему. Показан пример автоматизации расчета выбора автомобиля с применением модифицированного метода анализа иерархий.

Ключевые слова: метод анализа иерархий, автоматизация расчетов, вычисление приоритетов для матрицы сравнений, экспертные системы

Идея оптимизации. Большое количество критериев (многокритериальность) в подавляющем количестве управленческих, экономических и финансовых задач, сочетание качественных и детерминированных показателей, необходимость их сравнения, наличие положительных и отрицательных показателей, не позволяет принимать наиболее целесообразные решения. Это такие задачи, как: конкурсная оценка инвестиционных проектов, решение об участии в тендерах, распределение денежных средств по грантам, определение инвестиционных рейтингов, решение о предоставлении кредита и т.п. Большая часть этих задач решается с применением экспертных мнений лиц, принимающих решения (ЛПР), без использования компьютерной поддержки.

Для решения перечисленных задач целесообразно использование технологий экспертных систем с применением искусственного интеллекта, для интеллектуальной поддержки с использованием математических методов при определении тактических или стратегических направлений развития, финансирования и в других случаях, когда имеется неопределенность в исходных данных, используемых для принятия решения.

Решением следует называть определение одного из существующих вариантов преодоления проблемной ситуации.

Принятие решения – это процесс выбора альтернатив, имеющий целью достижение какого-либо результата. Ключевым свойством эффективного решения следует считать обязательное наличие альтернатив, обеспечивающих целесообразность и осознанность их свободного выбора, а также наличие критериев, по которым будут оценивать данные альтернативы [6]. Исходя из этого, алгоритм принятия решений должен оперировать такими понятиями как:

- Объекты сравнения (альтернативы);
- Критерии альтернатив – характеристики альтернатив, служат для оценки альтернатив;
- Принятие решения (выбор одной из существующих альтернатив).
- Эксперты;
- Критерии экспертов – характеристики экспертов, служат для определения веса экспертов [5].

Таким образом, для каждой решаемой проблемы должны быть определены альтернативы (варианты решений) и ряд критериев оценки, по которым эти альтернативы сравниваются.

Выведем определение экспертной системы (ЭС): это интеллектуальная вычислительная система, в которую включены знания опытных специалистов (экспертов) о некоторой предметной области, и которая в пределах этой области способна принимать экспертные решения.

Исходя из сборника понятий и применяемых элементов, выбор решения в экспертной системе сводится к групповому многокритериальному выбору. Таким образом, необходимо рассмотреть основные принципы группового выбора, которые приводят к согласованию единого группового предпочтения [2].



Существуют методы, которые позволяют определять оптимальное решение при наличии информации о полном или частичном упорядочении коэффициентов весов и предпочтений решений [4]. Для получения информации о коэффициентах относительной важности членов группового ЛПР или показателей (в случае многокритериальной задачи) целесообразно использовать метод экспертных оценок.

Для использования метода в компьютерной системе необходимо выбрать тип формируемой модели. Окончательная оценка при использовании этих методов определяется с помощью четырех основных методов экспертных оценок и множества их разновидностей [3]:

- 1) метод простой ранжировки (или метод предпочтения);
- 2) метод задания весовых коэффициентов;
- 3) метод парных сравнений;
- 4) метод последовательных сравнений.

Лучшим алгоритмом для решений этой задачи является метод анализа иерархий (далее «МАИ») – математический инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия решений, использующий метод парных сравнений в сочетании с методом последовательных сравнений. МАИ не предписывает лицу, принимающему решение, какого-либо «правильного» решения, а позволяет ему в интерактивном режиме найти такой вариант (альтернативу), который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к ее решению.

Для использования при решении задачи иерархической процедуры многокритериального оценивания задача представляется в виде иерархии (рис. 1).

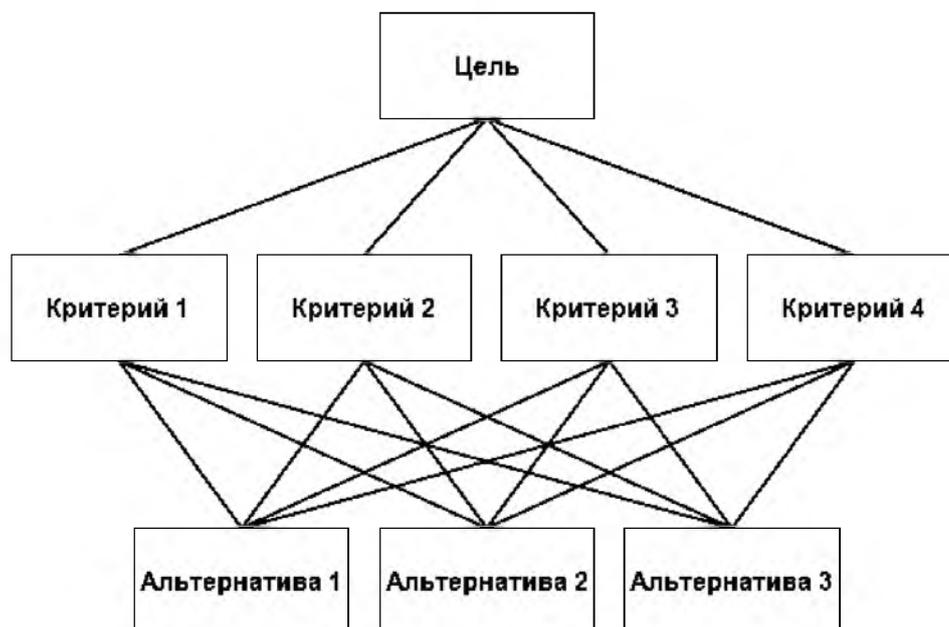


Рис. 1. Иерархии

Основное применение метода – поддержка принятия решений посредством иерархической композиции задачи и рейтингования альтернативных решений. МАИ позволяет разбить сложную проблему на ряд простых, выявить противоречия. Метод анализа иерархий не требует упрощения структуры задачи, априорного отбрасывания некоторых признаков. Поэтому он эффективнее других аналитических инструментов позволяет учитывать влияние всевозможных факторов на выбор решения.

В соответствии с МАИ используются относительные измерения для вывода шкал отношений на основе парного сравнения критериев между собой и альтернатив относительно каждого критерия. Оценка отношений осуществляется на основе



экспертных суждений с использованием фундаментальной шкалы и записывается в матрицы парных сравнений. В качестве экспертных суждений используются усредненные оценки, полученные от ведущих специалистов предприятий и организаций, интегрирующих и эксплуатирующих сходное программное обеспечение. В результате получилась матрица парных сравнений критериев размерностью $K \times K$, где K – количество критериев и Y матриц парных сравнений альтернатив размерностью $P \times P$, где P – количество альтернатив.

Вычисление приоритетов для матрицы парных сравнений $A = \{a_{ij}\}$ связано с решением задачи о собственном векторе [2]. Собственный вектор ω (он же является вектором приоритетов) можно вычислить из матричного уравнения

$$A\omega = n\omega, \quad (1)$$

где $A = \{a_{ij}\}$, $\omega = \{\omega_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}$.

Если суждения не согласованы, то вместо решения матричного уравнения $A\omega = n\omega$ необходимо решить уравнение

$$A'\omega' = \lambda_{max} \omega', \quad (2)$$

где λ_{max} – максимальное собственное значение матрицы $A' = \{a'_{ij}\}$, не совпадающей с $A = \{a_{ij}\}$.

Решение матричного уравнения (2) получается путем возведения матрицы A в достаточно высокие степени с последующим суммированием строк и нормализацией, в результате чего получается вектор приоритетов $\omega = \{\omega_1, \dots, \omega_n\}$. Процесс заканчивается, когда разность между компонентами векторов приоритетов, полученных для k -й и $(k + 1)$ -й степеней матрицы A , становится меньше заданной точности.

Максимальное собственное число матрицы λ_{max} для случая, когда известен вектор ω , вычисляется путем сложения чисел в каждом столбце матрицы парных сравнений и умножением полученного в результате вектора на нормированный вектор приоритетов ω .

Матрица A является абсолютно согласованной, когда $\lambda_{max} = n$, а при отклонении от идеальной согласованности $\lambda_{max} \geq n$. Индекс согласованности матрицы парных сравнений *C.I.* вычисляется по формуле $C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ [1].

Следующим шагом используемого метода является синтез обобщенных приоритетов. Для того чтобы определить глобальные приоритеты альтернатив, формируется матрица локальных приоритетов, рассматриваемых вариантов по каждому критерию, после чего каждый столбец этой матрицы умножается на приоритет соответствующего критерия. Последующее суммирование по строкам дает компоненты вектора глобальных приоритетов для альтернативных способов приобретения программных модулей. Выполнение вычислений по алгоритму можно увидеть в блоке «Автоматизация расчетов».

Для оптимизации принятия решений метод анализа иерархий нуждается в доработке. Так, например, есть возможность:

- внедрения модифицированного алгоритма метода анализа иерархий для оценки вариантов (альтернатив) в процессе принятия решения [7];
- расчета коэффициента конкордации для вариантов [8];
- устранения противоречивых вариантов из процесса принятия решений, что ведет к сокращению времени анализа за счет уменьшения объема данных.

Для применения метода необходимо разработать требования, которым он должен соответствовать для выбора лучшей альтернативы:

1. Метод позволяет провести анализ проблемы. При этом проблема принятия решения представляется в виде иерархически упорядоченных:

- главной цели (главного критерия) рейтингования возможных решений;
- нескольких групп схожих факторов, оказывающих влияние на рейтинг;
- группы возможных решений;
- связей, что указывают на влияние критериев и альтернатив;

2. Метод помогает собирать информацию по экспертизе. Модифицированный метод анализа иерархий должен позволять определить веса критериев, необходимых для



оценки каждой из альтернатив. Для этого производится сравнение критериев между собой, таким образом, сложные критерии и экспертизы разбиваются на ряд упрощенных, отбрасываются не имеющие значения характеристики;

3. Модифицированный метод позволяет оценивать противоречивость введенных данных с целью уменьшения влияния негативных факторов на принятия решения. Так, существует вариант определить самые противоречащие друг другу критерии, что позволяет сосредоточиться на более необходимых данных для принятия решения;

4. Модифицированный метод позволяет произвести оценку альтернативы. По результатам специального алгоритма рассчитывается итоговый рейтинг – веса оцениваемых альтернатив и выводится итоговый отчет. На его основе осуществляется поддержка принятия решений, например, выбирается альтернатива с высочайшими весами. Также метод позволяет строить такой отчет и при оценке критериев, чтобы также сравнить, какой критерий играл большее значений в итоговой оценке альтернатив;

5. Модифицированный метод позволяет присоединить к решению проблемы сторонних экспертов, что на основе метода «Дельфи» позволяет учесть мнение независимых экспертов по обсуждаемой проблеме путем последовательного объединения оценок, идей, выводов и выбрать из предложенных альтернатив лучшую. Анализ с помощью этого метода проводится в несколько этапов, а обработка результатов происходит статистическими методами. Метод основывается на том, что несколько независимых экспертов (не знающих друг о друге) участвуют в оценке, не опираясь на мнение большинства, что приводит к лучшей оценке и предсказыванию результата;

6. Метод позволяет учесть важность каждого эксперта, важность каждого критерия эксперта и важность каждого критерия оцениваем альтернативы;

7. Метод позволяет просчитать согласованность принятого решения. На основе статистических данных, собранных во время оценки, высчитываются индексы согласованности и влияния, которые показывают обоснованность принятого решений;

8. Метод позволяет использовать качественные и детерминированные показатели;

9. Метод позволяет использовать фото и видео-материалы;

10. Метод предоставляет возможность генерирования идеального проекта;

11. Метод позволяет учитывать значимость и компетенции привлекаемых экспертов;

12. Метод предполагает обоснованный и интуитивный способ для сравнения и оценки альтернатив.

Особенность разработанного метода в возможности применения модифицированного метода анализа иерархий (ММАИ), основанного на механизме «парных сравнений» неявных показателей и рейтинговых оценок числовых показателей. Модифицированный метод анализа иерархий позволяет выявить противоречия, разбить комплексную задачу на составляющие. Данный метод не требует упрощать задачу, позволяет использовать все признаки в целом, либо объединенные в группы. Метод анализа иерархий (МАИ) эффективнее других аналитических инструментов учитывает влияние всех факторов (качественных и количественных) на выбор решения. Стоит отметить, что при применении ММАИ эксперт может пользоваться не только статистической информацией, но и нерегулярной, разовой, но очень важной информацией, необходимой для разностороннего анализа. Таким образом, для модификации метода анализа иерархий необходимо использовать механизм учета компетенции экспертов, участвующих в проведении экспертизы.

Для проведения опросов экспертов предполагается использовать метод Дельфи. Это такой инструмент, который позволяет учесть мнение независимых экспертов по обсуждаемой проблеме путем последовательного объединения оценок, идей, выводов и выбрать из предложенных альтернатив лучшую. Анализ с помощью этого метода проводится в несколько этапов, а обработка результатов происходит статистическими методами. Метод основывается на том, что несколько независимых экспертов (не знающих друг о друге) участвуют в оценке, не опираясь на мнение большинства, что приводит к лучшей оценке и предсказыванию результата.



Так как необходимо учитывать вес каждого критерия и каждого эксперта, необходимо провести предварительную работу для повышения быстродействия алгоритма. Так, сначала один человек производит ранжирование критериев степени компетенции экспертов, а потом ранжирование самих экспертов. В процессе работы программы, эксперту остается только оценить критерии по степени важности, а потом произвести парные сравнения необходимых показателей для выбора альтернативы. Таким образом, МАИ в алгоритме применяется дважды, первый раз – на этапе подготовки, а второй – непосредственно в процессе работы экспертов.

Коэффициент компетентности, в отличие от стандартного метода, определяется лицом, поставившим задачу, то есть остается не проблема выбора компетентных экспертов (хотя она все же играет свою роль), а проблема постановки задачи настолько узко, чтобы усреднение мнений экспертов позволило выделить то общее, что есть у всех экспертов, отбросив случайные отклонения в ту или иную сторону.

Так как необходимо учитывать вес каждого критерия и каждого эксперта, необходимо провести предварительную работу для повышения быстродействия алгоритма. Так, сначала один человек производит ранжирование критериев степени компетенции экспертов, а потом ранжирование самих экспертов. В процессе работы программы, эксперту остается только оценить критерии по степени важности, а потом произвести парные сравнения необходимых показателей для выбора альтернативы.

Данный инструмент позволит предприятиям и организациям минимизировать временные и материальные ресурсы при принятии стратегических и тактических решений. Также система увеличит надежность принятия решений, повысит защищенность лиц, ответственных за конечный результат.

Автоматизация расчетов. Для упрощения работы с данными, необходимыми для оценки альтернатив, создана программа «Экспертная оценка». Программа реализует изложенный выше метод принятия решений.

При решении задачи владелец системы (председатель) должен заполнять альтернативы и ряд критериев сравнения, а также делегировать задачи по сравнению критериев и альтернатив приглашенным экспертам (рис. 2).

Рассмотрим на примере выбора лучшего автомобиля. Критерии – показатели, по которым осуществляется сравнение альтернативных вариантов получения программного модуля. Альтернативы – это варианты получения программного модуля, при обработке матриц парных сравнений получают веса или относительные важности этих вариантов, в сумме дающие 1. Самая большая весомость характеризует наиболее предпочтительный вариант.

Алгоритм работы с программой при решении любой другой задачи, связанной с выбором альтернативного варианта, достаточно простой. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

1. Ввод альтернатив.
2. Ввод критериев альтернатив. Критерии могут быть как числовые, так и качественные. К качественным критериям относятся характеристики, не имеющие явного измерителя. Числовые критерии характеризуют численные показатели альтернативы. У числовых критериев существует понятие «Вид оптимального значения», означающее оптимальный уровень, к которому должен стремиться критерий у альтернативы (макс., мин. или среднее).
3. Ввод критериев экспертов и шкалирование экспертов. Пользователь определяет вес критериев методом «парного сравнения». Количество сравнений зависит от числа критериев, указанных при старте программы, и определяется по алгоритму «каждый с каждым».
4. Шкалирование критериев альтернатив. Происходит также, как и шкалирование экспертов.

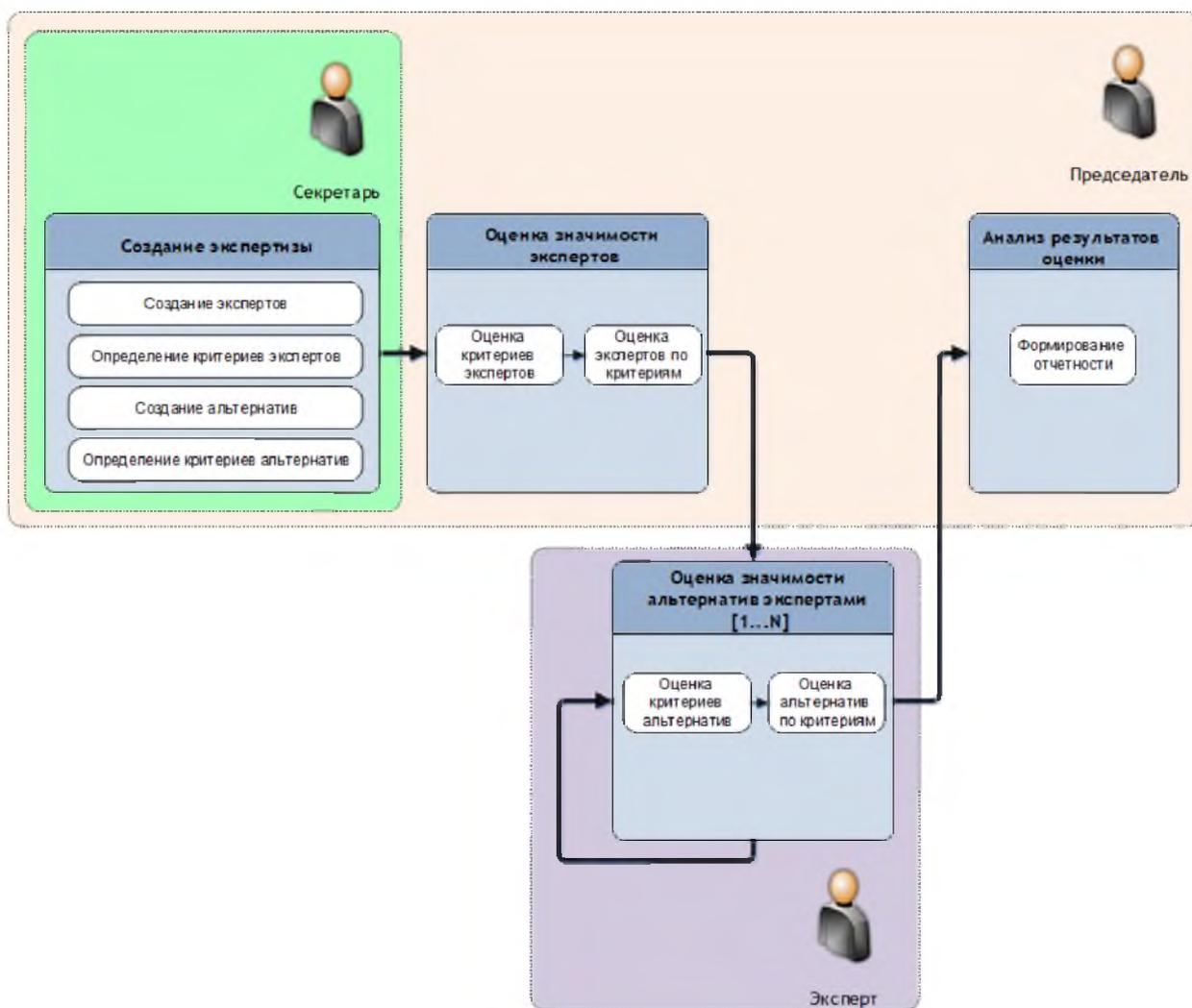


Рис. 2. Схема взаимодействия

5. Оценка альтернатив по критериям. Происходит также, как и шкалирование экспертов. Хранение оценок при шкалировании хранится отдельно и позже влияет на итоговую оценку.

6. Итоговая оценка. В результате произведений числовых значений отдельных оценок критериев, экспертов и альтернатив выводятся весомости альтернатив. Самая высокая весомость характеризует наиболее предпочтительный вариант (рис. 3).



Итоги оценки альтернатив экспертами

№ в группе	Альтернатива	Андреева И.И. Оценка эксперта	Жуков К.Е. Оценка эксперта	Заикин В.А. Оценка эксперта	Кирова Е.Н. Оценка эксперта
1	Mercedes E-class	24,856	21,9724	19,0699	16,3871
2	Audi Q7	21,1082	16,0446	16,9521	11,4453
3	Honda S2000	11,4101	9,6513	17,6094	10,0134
4	Mitsubishi Lancer X 1.5 AT	10,0393	10,6416	11,2661	14,3168
5	Ford Focus Hatchback	8,8088	9,7516	12,8943	13,277
6	Baz 2107	8,255	11,3941	5,5901	12,9379
7	Renault Logan L1D 16090 4C	8,4721	9,2629	8,3071	11,7283
8	УАЗ-Патриот	7,0506	11,2815	8,311	9,8943

Результаты оценки альтернатив

№ в группе	Альтернатива	Оценка альтернативы
1	Mercedes E-class	21,8402
2	Audi Q7	17,6985
3	Honda S2000	11,5845
4	Mitsubishi Lancer X 1.5 AT	11,2311
5	Ford Focus Hatchback	10,4385
6	Baz 2107	9,4451
7	Renault Logan L1D 16090 4C	9,2963
8	УАЗ-Патриот	8,4659

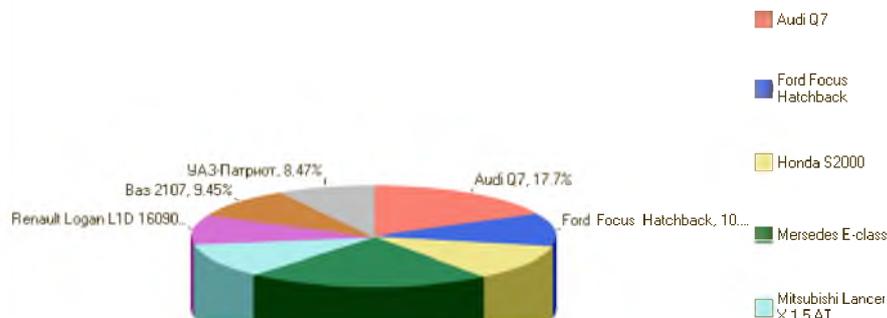


Рис. 3. Итоговая оценка

Полученные в ходе проведения вычислительных экспериментов результаты демонстрируют преимущество применения модифицированного метода анализа иерархий в задачах с применением экспертных мнений лиц, принимающих решения. Разработанный метод позволяет увеличить надежность принятия решений, повысить защищенность лиц, ответственных за конечный результат.

Список литературы

1. Демин П.В., Кривошеев А.О., Путивцева Н.П. Об одной процедуре выбора варианта программного обеспечения для организации / Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2010. – № 19 (90). – Вып. 16/1. – С. 141-144.
2. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах: Учебник. – М.: Логос, 2000. – 296 с.: ил. – ISBN 5-88439-046-7.
3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст]/Томас Саати; перевод с англ. Р.Г. Ванчадзе. – Москва.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
4. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 256 с. – ISBN 978-5-9221-0812-6.
5. Фурцев Д.Г., Чикулаева А.А. «Алгоритм выбора лучшего решения в системах поддержки принятия решений» / Международная молодежная конференция "Прикладная математика, управление и информатика". 3-5 октября 2012 г.: Сборник трудов. – Белгород: ИД "Белгород", 2012. В 2-х томах. Т. 2. – С. 607-609.
6. Фурцев Д.Г., Чикулаева А.А. «Особенности принятия решений в интеллектуальных системах поддержки принятия решений» / Всероссийская молодежная конференция "Теория и практика системного анализа". 1-3 октября 2012 г.: Сборник трудов. – Белгород: ИД "Белгород", 2012. – С. 413-416.
7. Фурцев Д.Г. Заявка на регистрацию программы для ЭВМ «Программный блок анализа отклонений для интеллектуальных систем поддержки принятия решений». – Б.: ООО «МАТРИЦА-БелГУ», 2013.



8. Фурцев Д.Г. Заявка на регистрацию программы для ЭВМ «Фильтрация противоречивых вариантов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений для сокращения времени анализа». – Б.: ООО «МАТРИЦА-БелГУ», 2013.

ON THE OPTIMIZATION METHOD BASED ON THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

**D.G. FURTSEV
A.N. KOVALENKO
E.A. TKACHENKO**

*Belgorod National
Research University*

*e-mail:
dfurtsev@gmail.com*

In the work we gave the the possibility of optimization calculations using the method of analysis of hierarchies, a new method for evaluation and are the requirements for it. Shows an example of automated calculation of choosing a car using a modified method of analysis of hierarchies.

Keywords: analytic hierarchy process , automation of calculations , the calculation of the priorities for the matrix comparisons , expert systems