

УДК 62-50

О.И. Ларичев, Д.Ю. Кочин

Институт системного анализа РАН, Москва, Россия

Л.Л. Устинович

Университет им. Гедиминаса, Вильнюс, Литва

Метод анализа инвестиционных проектов реконструкции зданий

В данной статье мы предлагаем новый метод выбора лучшей из группы альтернатив. Предлагается процедура сравнения двух многокритериальных альтернатив на основе принципа парной компенсации, когда недостатки одной альтернативы пытаются уравновесить недостатками другой и в результате анализируют, какая же из двух альтернатив обладает менее предпочтительными недостатками или более предпочтительными достоинствами.

Введение

Одной из распространённых на практике задач принятия решений является задача выбора наилучшей из заданного множества альтернатив, имеющих оценки по многим критериям. Такие задачи встречаются как в деятельности организаций, так и личной жизни людей. Выбор плана проведения реформы, реорганизации фирмы, плана перестройки здания являются примерами деловых проблем такого типа. Примерами личных проблем являются выбор профессии, дорогостоящая покупка и т.д. Как известно, существуют различные методологические подходы к построению методов принятия решений [1], [5].

В течение ряда лет нами был развит подход вербального анализа решений (ВАР) [2], [8]. Основные положения этого подхода можно кратко представить в следующем виде:

1. Естественный язык описания проблемы, используемый лицом, принимающим решения, и его окружением должен сохраняться на всех этапах её анализа без каких-либо преобразований в числах.
2. Способы получения информации от людей, согласно данным психологических исследований, должны соответствовать возможностям человеческой системы переработки информации.
3. Логические операции преобразования словесных переменных (оценок альтернатив по критериям) должны быть математически корректны. Они определяют тот или иной вид решающего правила.
4. Проверка получаемой от ЛПР информации на непротиворечивость.

На наш взгляд, подход ВАР позволяет существенно уменьшить существующий в настоящее время разрыв между требованием прескриптивных методов принятия решений и возможностями человеческой системы переработки

информации. В рамках подхода ВАР ранее был предложен метод ПАРК [8], также ориентированный на выбор лучшей из группы заданных многокритериальных альтернатив, который позволил решить важные практические задачи [4]. Однако метод ПАРК имеет существенные ограничения:

- он предназначен для проблем выбора с 3–5 альтернативами, так как используются попарные сравнения всех вариантов;
- шкалы критериев имеют только вербальные оценки.

В данной статье мы предлагаем новый метод выбора лучшей из группы альтернатив, не имеющий этих ограничений.

Практический пример

Актуальными являются проблемы выбора наилучшего объекта для инвестиций: покупка здания для его реконструкции и последующей продажи, размещение торговых центров, а также центров производства сельскохозяйственной продукции [6].

Рассмотрим пример. Фирма ищет место для постройки крупного универсального магазина. Предварительный анализ показал, что имеется четыре возможных места постройки (Var 1 – Var 4). При решении задачи выбора правление фирмы решило руководствоваться следующими критериями: цена места, плотность населения в радиусе 1 км, наличие конкурентов, инфраструктура связей, количество мест для парковки автомашин, доступность места при помощи общественного транспорта и заметность магазина с ближайшей крупной улицы.

Заранее намеченные варианты были оценены экспертами, причем использовались либо шкалы оценок в натуральных единицах, либо вербальные оценки, сопровождавшиеся баллами. Табл. 1 вариантов с оценками представлена ниже. В таблице указано желательное направление изменения оценок по каждому из критериев (max или min).

Таблица 1

Варианты выбора места для постройки магазина

	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4
Кол-во мест для парковки а/м, max	400	300	250	150
Наличие конкурентов, min	1	5	3	5
Плотность населения в радиусе 1 км, max	200	4500	6000	7000
Цена места, min	6	16	12	20
Поток общественного транспорта, max	1	3	5	7
Видимость с главной улицы, max	5	5	3	1
Инфраструктура связей, max	3	3	5	7

В рассматриваемой постановке задачи дано: N – число критериев ($N < 20$, могут быть независимые группы критериев); w_i – оценка на шкале i -того

критерия (могут быть как качественные, так и количественные критерии); Q – число заданных альтернатив.

Требуется: выбрать из множества Q наилучшую альтернативу на основе предпочтений лица, принимающего решения (ЛПР).

Метод сравнения альтернатив путем построения шкалы нормированных упорядоченных различий (шнур)

В основу метода положены те же предположения о возможностях ЛПР, что и в методе ПАРК:

1. ЛПР может сравнивать по предпочтительности оценки двух альтернатив по отдельным критериям;
2. ЛПР может сравнивать по предпочтительности многокритериальные альтернативы, отличающиеся оценками только по двум критериям;
3. ЛПР может сравнивать по предпочтительности две альтернативы, отличающиеся по большему, чем 2, числу критериев, если при этом одна альтернатива предпочтительнее другой по одному критерию.

ЛПР может давать один из трёх возможных ответов:

1. Альтернатива А предпочтительнее альтернативы В.
2. Альтернатива В предпочтительнее альтернативы А.
3. Альтернативы А и В одинаково предпочтительны.

Кроме того, мы будем предполагать, что критерии можно разбить на независимые группы. Так в примере можно выделить 3 группы критериев, которые характеризуют стоимость, конкурентоспособность и потенциальное число покупателей. Критерии одной группы могут быть как зависимыми, так и независимыми по предпочтению.

Основываясь на этих принципах, предлагается процедура сравнения двух многокритериальных альтернатив на основе принципа парной компенсации, когда недостатки одной альтернативы пытаются уравновесить недостатками другой и в результате анализируют, какая же из двух альтернатив обладает менее предпочтительными недостатками или более предпочтительными достоинствами.

Формальный анализ

Компьютерный анализ проблемы осуществляется без участия ЛПР. При проведении анализа предполагается равная важность критериев. Целью анализа является подготовка совокупности вопросов к ЛПР, которая позволяет:

- обеспечить минимальную нагрузку для ЛПР, наименьшее предполагаемое число вопросов;
- обеспечить постепенное возрастание трудности вопросов;
- обеспечить максимально возможное использование информации от ЛПР.

Формальный анализ состоит из двух этапов:

Первый этап заключается в попарном сравнении всех альтернатив, выполняемом компьютером по следующему алгоритму:

- 1) Осуществляется нормировка оценок альтернатив в каждой паре сравниваемых альтернатив:
 - а) для всех количественных шкал находится среднее значение по оценкам двух альтернатив;

б) для качественных шкал берутся номера качественных оценок и по ним находится «средний» (искусственный) номер;

с) если по критерию требуется достичь наибольшего значения (max), то оценка альтернативы делится на среднюю; если требуется достичь наименьшего значения (min), то средняя делится на оценку.

2) Для каждой из двух альтернатив подсчитывается сумма баллов, полученных таким образом. Победителем является альтернатива, имеющая наибольшую сумму.

Второй этап заключается в подготовке последовательности опроса ЛПП с целью выявления его предпочтений.

Этот этап также выполняется компьютером без участия ЛПП.

а) выбирается альтернатива, которая наибольшее число раз побеждает при попарных сравнениях на этапе 1. Она объявляется потенциально лучшей (ПЛА);

б) все альтернативы, которые ПЛА доминирует по Парето, исключаются из рассмотрения;

с) остальные парные сравнения упорядочиваются по разности сумм баллов между ПЛА и другой альтернативой от большой (более явное превосходство) к малой.

Цель и свойства этапа формального анализа

Основная цель данного этапа состоит в выявлении потенциально лучшей альтернативы, которая является как бы эталоном для ЛПП при попарном сравнении с другими альтернативами. Конечно, на этапе формального анализа мы ещё ничего не знаем о предпочтениях ЛПП, о важности для него тех или иных оценок по критериям. Однако даже при этих условиях формальный анализ может заострить внимание ЛПП на альтернативе, которая в чем-то превосходит каждую из остальных. При формальном анализе такая альтернатива определяется путём попарных сравнений на основании принципа де Кондорсе [7]: «Наилучшей считается альтернатива, которая побеждает все другие при попарных сравнениях».

Хотя с точки зрения здравого смысла принцип де Кондорсе представляется весьма привлекательным, в ряде случаев он приводит к цикличности на множестве альтернатив. Например, рассмотрим следующие три альтернативы А, В и С (критерии равновесны, max означает направление желательного изменения критерия):

	А	В	С
Критерий 1, max	1	2	3
Критерий 2, max	2	3	1
Критерий 3, max	3	1	2

По результатам формального анализа получается, что $B > A$, $A > C$, но $B < C$.

Найдём условие, при котором циклы никогда не возникают. Обозначим через σ_1^{jk} , σ_2^{jk} , Λ , σ_N^{jk} – средние для значений критериев, подсчитываемые при

попарном сравнении альтернатив A_j и A_k . Обозначим через $\gamma_1, \Lambda, \gamma_N$ – средние по значениям всех альтернатив по критериям (подсчет средних осуществляется по изложенным выше правилам). Так как в соответствии с изложенной выше процедурой альтернативы A_j и A_k не находятся в отношении доминирования, то есть критерии, по которым A_j превосходит A_k и наоборот. Обозначим через C_{jk}^+ – множество критериев, по которым A_j превосходит A_k , и через C_{jk}^- – по которым она ей уступает. Пусть A_j выбрана как ПЛА, и она по формальному анализу превосходит A_k .

$$\text{Тогда: } \sum_{i \in C_{jk}^+} \frac{x_i^j - x_i^k}{\sigma_i^{jk}} > \sum_{i \in C_{jk}^-} \frac{x_i^j - x_i^k}{\sigma_i^{jk}} \quad (1)$$

Утверждение 1. Достаточным условием отсутствия циклов на множестве альтернатив A является выполнение следующих условий для любой пары альтернатив A_j и A_k :

$$\gamma_i \leq \sigma_i^{jk}, \quad \forall i \in C_{jk}^+ \quad (2)$$

$$\gamma_i \geq \sigma_i^{jk}, \quad \forall i \in C_{jk}^- \quad (3)$$

Утверждение 2. Если альтернативы A_i, A_j и A_k превосходят при попарных сравнениях все прочие и при этом образуют цикл, то в качестве ПЛА следует взять альтернативу, являющуюся лучшей при групповом сравнении A_i, A_j и A_k .

Пример: этап формального анализа

Пример сравнения альтернатив Var 1 и Var 2 по правилам формального анализа представлен в табл. 2. В таблице приведены исходные альтернативы, их представления в нормированном по правилам формального анализа виде, векторная разность между нормированными вариантами (строка «Разность») и результат – сумма компонент «разности». Если результат больше 0, то первая альтернатива из пары лучше второй, в противном случае – наоборот.

Таблица 2

Пример проведения формального анализа

Критерии	1(max)	2(min)	3(max)	4(min)	5(max)	6(max)	7(max)
Сравнение Var 1 и Var 2							
Var 1	400.00	1.00	200.00	6.00	1.00	5.00	3.00
Var 2	300.00	5.00	4500.00	16.00	3.00	5.00	3.00
Нормированный Var 1	1.14	3.00	0.09	1.83	0.50	1.00	1.00
Нормированный Var 2	0.86	0.60	1.91	0.69	1.50	1.00	1.00
Разность:	0.29	2.40	-1.83	1.15	-1.00	0.00	0.00
Результат: 1.001760: Var 1 лучше Var 2							

В данном случае лучшей из пары оказалась альтернатива Var 1. Проведя аналогично сравнения остальных пар альтернатив, получим данные для табл. 3:

Таблица 3

Результаты попарных сравнений

Вариант	Количество выигранных попарных сравнений
Var 1	2
Var 2	1
Var 3	3
Var 4	0

Таким образом, потенциально лучшая альтернатива – Var 3, которая при всех попарных сравнениях оказывается лучшей.

Диалог ЛПР-СППР

Выявление предпочтений ЛПР осуществляется на сравнениях, относящихся к предъявляемым ему по очереди парам альтернатив, начиная с пар, в которых ПЛА предположительно имеет большее превосходство. В диалоге можно выделить три этапа.

Этап 1. Подготовка сравнений.

На этом этапе ЛПР просматривает предъявляемые ему оценки двух альтернатив и отвечает на следующие вопросы:

1. Нет ли среди оценок альтернатив таких, которые мало отличаются между собой и при попарном сравнении могут рассматриваться как почти одинаковые?.
2. Нет ли среди оценок альтернатив таких, которые являются недопустимо малым качеством по данному критерию, что позволяет сразу же исключить альтернативы из рассмотрения?

Компьютер помогает сделать вопросы 1 и 2 более конкретными.

Для подготовки данных для первого опроса среди всех оценок по каждому критерию проводится нормировка (см. формальный анализ) и ЛПР предъявляются для рассмотрения пары оценок, не превышающие 0,1.

При втором вопросе ему указываются пары оценок, отличающиеся менее, чем на 0,1 по количественным критериям, либо две соседние формулировки качества на шкале качественного критерия (если они принадлежат сравниваемым альтернативам).

Утверждение 3. Оставшиеся после этапа 1 интервалы на шкалах критериев между оценками двух альтернатив являются *компенсируемыми*.

Действительно, оставив эти различия, ЛПР предоставляют себе возможность компенсации сравнительных недостатков альтернативы ее преимуществами.

Этап 2. Упорядочение достоинств и недостатков в паре альтернатив.

Для оставшихся после этапа 1 оценок альтернатив производится нормировка. Далее критерии упорядочиваются по мере убывания превосходства ПЛА в этой паре.

Далее ЛПР попарно сравнивает достоинства и недостатки ПЛА по сравнению с другой альтернативой и упорядочивает их по своему усмотрению. Исходными данными являются данные строки «разность» в табл. 2, но ЛПР, конечно, обращает внимание на сами оценки альтернатив. В итоге получается шкала, на которой в соответствии с предпочтениями ЛПР упорядочены относительные нормированные различия альтернатив.

Этап 3. Сравнения ЛПР.

Итак, на данном этапе используется список, упорядоченный от больших к меньшим достоинств (предпочтительных по баллам оценок) ПЛА, к которому примыкает список упорядоченных от меньших к большим недостатков ПЛА. Шкала относительных нормированных различий служит основой для опроса ЛПР. Как показано выше, определяются условия попарной компенсации недостатков ПЛА (начиная с наибольшего) достоинствами (начиная также с наибольшего).

Обозначим критерии, по которым ПЛА имеет превосходство как С+, критерии, по которым ПЛА уступает как С-.

Рассмотрим три случая.

- а) число С+ больше числа С-
- б) число С+ равно числу С-
- в) число С+ меньше числа С-.

Назовем превосходство (недостаток), большее или равное 1, как значительное, а меньшее или равное 0,2 как незначительное.

Для случая а) вопрос к ЛПР имеет вид: «Рассмотрим недостаток ПЛА. Можно ли утверждать, что достоинства ПЛА по S первым критериям более существенны, чем этот (незначительный, малый) недостаток?». Возможны ответы: «Да», «Нет».

Компьютер меняет S от 1 до P пока не получит ответ «Да». (Пояснение: имеем список, упорядоченных от больших преимуществ к меньшим; берем два крайних члена. Затем к первому слева добавляем следующий и т.д.). Компьютер помогает выбрать S, исходя из сумм.

В случае б) вопросы почти те же. В случае в) берем по очереди по одному достоинству ПЛА и пытаемся найти его превосходство над несколькими недостатками.

Утверждение 4. Если критерии независимы и удастся найти превосходство оценок одной из альтернатив (А) над оценками другой (В), то А предпочтительнее В.

Итак, сравнения, осуществляемые ЛПР, основаны на использовании шкалы специального типа. На этой шкале отмечены относительные (в смысле используемой нормировки) различия двух альтернатив по критериям, начиная от преимуществ ПЛА и кончая её недостатками. Отметим особенности этой шкалы.

Она:

- 1) строится для пары альтернатив;
- 2) относительная, а не абсолютная;
- 3) ранжированная по объективным различиям оценок, а не по предпочтениям ЛПР.

Построенную шкалу можно использовать как инструмент для проведения сравнений ЛПР, для выбора вопросов. Предложенному методу можно дать название ШНУР (шкала нормированных упорядоченных различий).

Утверждение 5. Если нельзя подобрать условия, при которых по группам критериев одна альтернатива превосходит другую, то альтернативы несравнимы на основе информации ЛПР.

Пример: опрос ЛПР

Обратимся к нашему примеру. Первый шаг – объединение близких оценок. На экране будут представлены все альтернативы с возможностью объединить некоторые оценки в пределах критерия. Программа выделяет цветом оценки, которые близки друг к другу. В нашем примере программа советует ЛПР обратить внимание на близкие оценки 250 и 300 по первому критерию. Объединив эти оценки, их можно заменить средним значением, если они одинаково предпочтительны для ЛПР. Это позволит уменьшить количество задаваемых вопросов.

Второй шаг – исключение альтернатив с низкими некомпенсируемыми оценками. Программа опять выделит цветом оценки с низкими значениями. В данном примере программа замечает чрезвычайно низкую оценку по критерию «Плотность населения» варианта Var 1. Можно исключить её из рассмотрения, если эта оценка недопустимо низкая по мнению ЛПР.

Третий шаг – сравнение пар альтернатив (рис. 1). Перед этим шагом программа определяет последовательность задаваемых вопросов. ЛПР может быть предложено сравнить один недостаток одной альтернативы с одним или несколькими достоинствами другой. Результаты всех сравнений будут выведены, когда вопросы к ЛПР будут исчерпаны (рис. 2). В нашем примере для установления превосходства Var 3 понадобилось 9 вопросов к ЛПР.

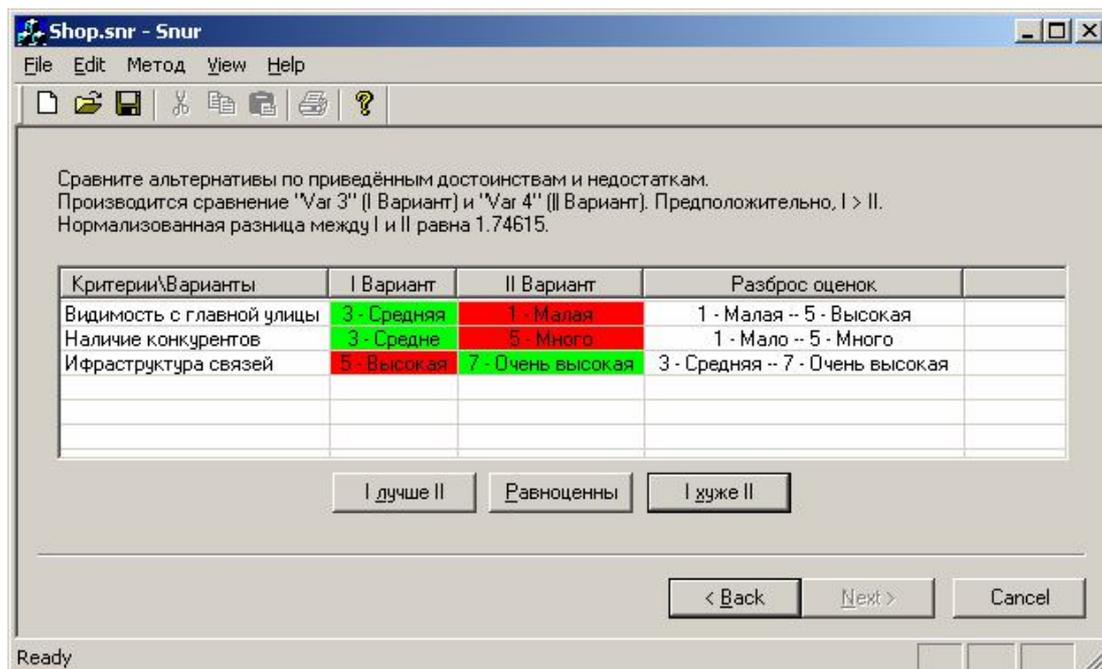


Рис. 1. Сравнение альтернатив

Итак, **метод ШНУР позволяет во многих случаях помочь ЛПР в выборе лучшей альтернативы**. Однако он не всегда приводит к этому результату, альтернативы могут оказаться несравнимыми. В этом случае метод даёт ЛПР следующую информацию:

1. Указывает как лучшую альтернативу с наибольшей суммой нормированных оценок.
2. Сообщает, что есть другая альтернатива, весьма близкая к наилучшей; приводит оценки этих альтернатив.
3. Предлагает ввести дополнительные критерии, по которым можно различить несравнимые (по методу) альтернативы.
4. Передаёт окончательный выбор на усмотрение ЛПР.

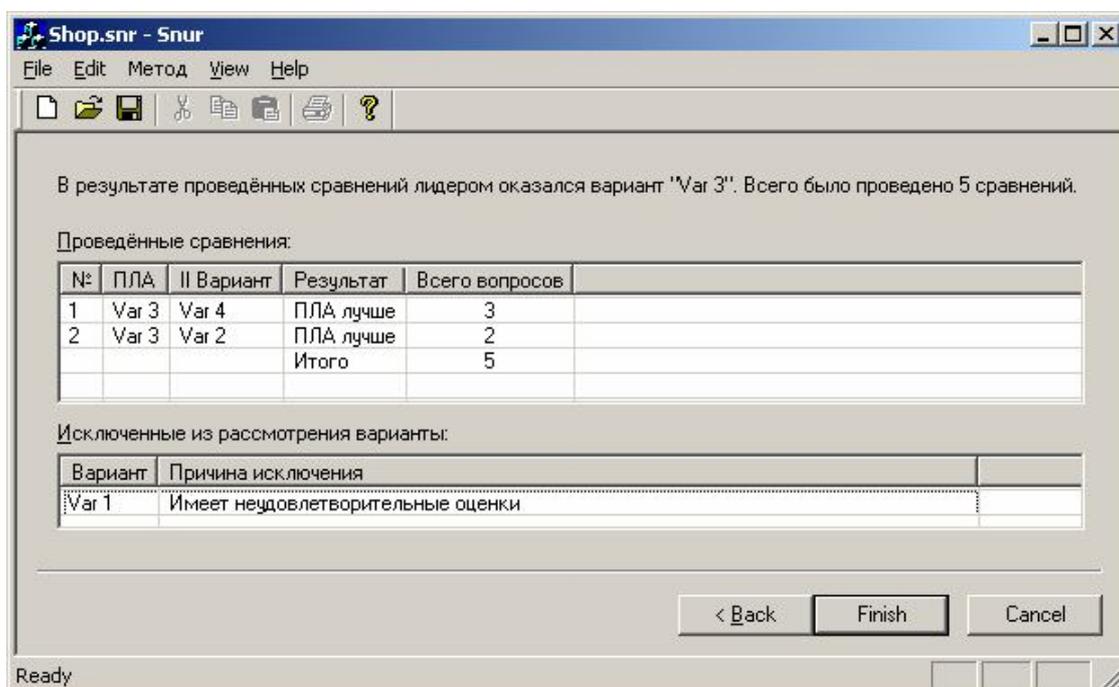


Рис. 2. Результаты

Проверка непротиворечивости предпочтений осуществляется путём фиксации всех попарных сравнений, осуществляемых ЛПР. При выявлении циклов на множестве альтернатив ЛПР предъявляются все попарные сравнения альтернатив, входящих в цикл, с просьбой пересмотреть часть из них, необходимую для удаления цикла.

Заключение

Предлагаемый метод ШНУР выбора лучшей из группы заданных альтернатив имеет следующие особенности:

1. В методе используются достаточно простые (с психологической точки зрения) процедуры выявления предпочтений ЛПР.
2. Диалог ведётся на понятном для ЛПР языке.

3. Метод позволяет сравнить большое количество альтернатив при минимальном числе вопросов к ЛПР.

4. Метод позволяет приспособиться к конкретной задаче (набору альтернатив) и всегда выделить лучшую или предположительно лучшую альтернативу.

5. Метод позволяет ЛПР получить объяснения сделанному выбору путем предъявления тех его ответов, которые привели к полученному результату.

Таким образом, метод ШНУР является удобным для ЛПР, «прозрачным» и действенным методом решения широкого круга задач.

Литература

1. Gal T., Steward T., Hanne T. Multicriteria Decision Making: advances in MCDM models, algorithms, theory and applications // Kluwer Academic Research. – Boston, 1999.
2. Larichev O., Moshkovich H. Verbal Decision Analysis for Unstructured Problems // Kluwer Academic Publishers. – Boston, 1997.
3. Larichev O., Olson D. Multiple Criteria Analysis in Strategic Siting Problems // Kluwer Academic Publishers. – Boston, 2001.
4. Larichev O.I., Brown R.V. Numerical and Verbal Decision Analysis: Comparison on Practical Cases // Journal of Multi-Criteria Decision Analysis / Edit. by V. Belton. – Vol. 9, Issue 6, November 2000. – P. 263-274.
5. Meskens N., Roubens M. Advances in Decision Analysis // Kluwer Academic Research. – Boston, 1999.
6. Zavadskas E.K. Mehrkriterielle Entscheidungen im Bauwesen. – Vilnius: Technika, 2000.
7. Гюйбо Д.Т. Теории общего интереса и логическая проблема агрегирования // Математические методы в социальных науках / Под ред. П. Лазерпфельда, Н. Генри. – М.: Прогресс, 1973.
8. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений. – М.: Наука: Физматлит, 1996.
9. Ustinovicus L., Jakučionis S. Multi-criteria analysis of the variants of the old town building renovation in the marketing // Statyba. – Vilnius: Technika, 2000. – Т. VI, № 6. – P. 212 – 222.

There is evidence of errors by reconstruction of buildings in cities historical places. The problems of best variant choice by the reconstruction of old buildings on the basis of investment efficiency are under discussion in this paper. New multicriteria decision method SNUD (Scale of Normalized and Ordered Differences) is developed. There are two stages in the method: formal analysis and Decision Maker preferences elicitation. The method is based on Verbal Decision Analysis approach. The method has been applied for practical cases of buildings reconstruction in Vilnius.

Материал поступил в редакцию 24.04.02.

Ларичев О. И., Кочин Д. Ю., Устиновичус Л. Л. Метод анализа инвестиционных проектов реконструкции зданий // Искусственный интеллект. — Т. 2. — Донецк, Украина: Наука і освіта, 2002. — С. 483–492.

```
@InProceedings{Larichev_Kochin_Ustinovicius_2002,  
  author =      "Ларичев, О. И. and Кочин, Д. Ю. and  
                Устиновичус, Л. Л.",  
  title =      "Метод анализа инвестиционных проектов реконструкции зданий",  
  booktitle =  "Искусственный интеллект",  
  volume =     "2",  
  address =    "Донецк, Украина",  
  publisher =  "Наука і освіта",  
  year =      "2002",  
  pages =     "483--492",  
  language =   "russian",  
}
```