

## ПОДХОДЫ К ОЦЕНИВАНИЮ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ОСНОВАННЫЕ НА МЕТОДЕ ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ

С. И. Моисеев, Ю. В. Черная, Е. В. Паршина

*Воронежский филиал Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова*

Поступила в редакцию 17.01.2017 г.

**Аннотация.** В работе предлагается использовать для оценки качества программного обеспечения метод парных сравнений. Рассмотрены два подхода к его реализации: метод анализа иерархий и метод, основанный на модели Раша оценки латентных переменных. На примере приведена методология получения оценок обоими методами, проанализированы результаты.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, качество, экспертное оценивание, метод парных сравнений, метод анализа иерархий, латентные переменные, модель Раша.

**Annotation.** This paper proposes to use to assess software quality, the method of paired comparisons. Two approaches to its implementation: analytic hierarchy process and the method based on Rasch model estimates of latent variables. For example, the methodology for obtaining estimates of both methods, we analyzed the results.

**Keywords:** software, quality, expert evaluation, the method of pairwise comparisons, analytic hierarchy process, latent variables, Rasch model.

При принятии решений по внедрению нового программного обеспечения (ПО) в практическую деятельность организаций или разработке нового ПО возникает проблема оценки качества программного продукта на основе сравнения его свойств с аналогичным ПО. При этом под его качеством понимается множество свойств, обуславливающих пригодность ПО обеспечивать надежное и своевременное представление требуемой информации потребителю для ее дальнейшего использования по назначению.

В настоящее время нет единого системного подхода к оценке качества ПО, также не сформирована система оценок качества информационных инноваций, не разработана технология повышения качества информационных проектов и инноваций, поэтому решение подобной задачи является проблемным. Однако существуют некоторые подходы к решению подобной задачи. Например, в [1] была предложена модель оценки качества ПО, основанная на теории нечетких множеств. Несколько

иной подход к оценке качества ПО и алгоритму принятия решений к его выбору изложен в [2], где в основе метода оценивания качества ПО лежит теория оценивания латентных переменных по модели Раша, основанная на методе наименьших квадратов [3].

Однако во всех перечисленных подходах требуется оценка конкретного вида программного продукта по заданному критерию, который в большинстве случаев является качественным, и оценка формируется субъективно на основе экспертного оценивания. При этом нет точного алгоритма многокритериального оценивания ПО экспертом или группой экспертов.

В данной работе авторами предлагаются два подхода к экспертному оцениванию программного продукта по качественным критериям. Оба основаны на распространенном в настоящее время в аналитическом планировании методе парных сравнений [4]. В основе этого метода лежит экспертное попарное сравнение различных качеств ПО при помощи вербальной шкалы относительной важности. Результаты сравнения переводят-

ся в некоторые количественные показатели привлекательности программных продуктов в соответствии с заданной шкалой. Рассмотрим эти методы применительно к оцениванию свойств ПО.

### Метод анализа иерархий (МАИ)

На практике не всегда можно точно и пропорционально оценить показатели привлекательности альтернатив выбора ПО, особенно при большом их числе. Гораздо проще бывает попарно сравнить все имеющиеся программные продукты по каждому критерию и оценить, насколько один конкретный вид ПО привлекательнее другого. Именно на таком подходе основан МАИ.

Рассмотрим его для случая  $n$  видов ПО. Обозначим их  $A_1, A_2, \dots, A_n$  и будем их оценивать по  $m$  критериям, которые, в свою очередь, обозначим  $K_1, K_2, \dots, K_m$ . Возьмем первый критерий  $K_1$  и попарно сравним все альтернативы друг с другом по этому критерию. В результате получим матрицу сравнений  $V_{ij}^{(1)}$ , каждый элемент которой в случае, если ПО  $A_i$  не менее предпочтительно, чем ПО  $A_j$ , равен  $h$ . Если же ПО  $A_i$  не более предпочтительно, чем  $A_j$ , то соответствующий элемент матрицы  $V_{ij}^{(1)}$  равен  $1/h$ . Таким же образом вычисляются матрицы сравнения  $V_{ij}^{(k)}$ ,  $k = 1, 2, \dots, m$  для других критериев. Введем, например [5], шкалу сравнений в соответствии с табл. 1.

При желании можно использовать четные целые числа, выражающие промежуточные уровни предпочтительности.

Аналогично, попарно сравнивая важности критериев оценки ПО, составляется матрица сравнения критериев, по которой можно определять их веса.

На следующем этапе вычисляются собственные векторы альтернатив по всем критериям. Для каждого  $i$ -го вида ПО по  $k$ -му критерию вычисляем элемент вектора  $U_i^{(k)}$ , который равен среднегеометрическому показателю матрицы сравнения для этого вида ПО (строки матрицы  $V_{ij}^{(k)}$ ):

$$U_i^{(k)} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n V_{ij}^{(k)}} = \sqrt[n]{V_{i1}^{(k)} \cdot V_{i2}^{(k)} \cdot \dots \cdot V_{in}^{(k)}}. \quad (1)$$

Такой же собственный вектор вычисляется и для матрицы сравнения критериев.

Далее в результате нормализации собственных векторов вычисляют веса видов ПО по каждому критерию и веса самих критериев. Вес  $i$ -го вида ПО по  $k$ -му критерию  $W_i^{(k)}$  равен отношению соответствующего элемента собственного вектора к сумме всех элементов собственного вектора данного критерия:

$$W_i^{(k)} = \frac{U_i^{(k)}}{\sum_{i=1}^n U_i^{(k)}} = \frac{U_i^{(k)}}{U_1^{(k)} + U_2^{(k)} + \dots + U_n^{(k)}}. \quad (2)$$

Также вычисляются и веса критериев, которые обозначим  $W_{крит}^{(k)}$ ,  $k = 1, 2, \dots, m$ .

Теперь, имея оценки привлекательности видов программных продуктов по всем критериям и веса критериев, можно вычислить функции полезности каждого вида ПО и из их сравнения выбрать наилучший вид ПО с максимальной функцией. Функция полезности  $i$ -го ПО вычисляется по формуле:

$$F_i = \sum_{k=1}^m W_i^{(k)} \cdot W_{крит}^{(k)} = W_i^{(1)} \cdot W_{крит}^{(1)} + W_i^{(2)} \cdot W_{крит}^{(2)} + \dots + W_i^{(m)} \cdot W_{крит}^{(m)}. \quad (3)$$

Принимается решение о выборе ПО с наибольшей функцией полезности.

Таблица 1

Шкала относительной важности парного сравнения ПО для МАИ

Уровень важности	Степень предпочтительности $h$
Равная важность	1
Умеренное превосходство	3
Существенное превосходство	5
Значительное, большое превосходство	7
Очень большое превосходство	9

Шкала относительной важности парного сравнения ПО для МЛП

Уровень важности $i$ -й альтернативы перед $j$ -й	Вероятность $p_{ij}$
Равная важность	0,5
Умеренное превосходство	0,6
Существенное превосходство	0,7
Значительное, большое превосходство	0,8
Очень большое превосходство	0,9
Однозначное предпочтение	1

**Метод, основанный на модели Раша оценивания латентных переменных (МЛП)**

Рассмотренный ранее метод анализа иерархий является классическим в теории экспертного оценивания, но он имеет ряд недостатков, основными из которых являются следующие:

1. Шкала относительной важности достаточно абстрактна и субъективна, а ее числовые значения не несут четкого смысла.
2. Полученные оценки важности альтернатив нелинейны, то есть если одна альтернатива в несколько раз лучше другой, то ее оценка не обязательно больше в это же число раз.
3. Оценки важности альтернатив зависят от других альтернатив и критериев и не являются уникальными характеристиками оцениваемых показателей.

Для устранения перечисленных недостатков, разработан аналог метода анализа иерархий, основанный на теории латентных переменных, который назовем методом латентных переменных (МЛП) [6].

Под термином «латентная переменная» понимают вид переменных, которые в явном виде не измеряются. Они могут быть вычислены только с помощью наблюдаемых переменных по некоторым математическим моделям. Эти наблюдаемые переменные, которые можно измерить непосредственно, и на основании которых происходит оценка латентных переменных, называются индикаторными переменными. В нашем случае в качестве латентных переменных выступают функции полезностей ПО, а индикаторные переменные – оценки степеней превосходства одного ПО над другим в паре по каждому критерию.

Общий подход здесь такой же, как и для метода анализа иерархий: строятся матрицы парных сравнений, но шкала относительной важности парного сравнения альтернатив для МЛП иная. Показатель важности  $h$  в этом подходе будет иметь определенный смысл: параметр  $p_{ij}$  равен вероятности выбрать альтернативу  $A_i$  по сравнению с  $A_j$ . Если привлекается группа экспертов, то  $p$  можно определить путем голосования и  $p_{ij}$  будет равна доли экспертов, выбравших или проголосовавших за альтернативу  $A_i$  по сравнению с  $A_j$ . Если эксперт один, то можно использовать, как и в МАИ, значения из табл. 2.

Кроме этого справедливо:  $p_{ji} = 1 - p_{ij}$ ,  $p_{ii} = 0,5$ .

Оценками привлекательности видов ПО (функции полезности) по выбранному критерию будут латентные переменные  $\beta_i$ , которые аналогичны собственным векторам из метода анализа иерархий. Но для их нахождения нужно вместо (1) решить задачу оптимизации вида:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( p_{ij} - \frac{e^{\beta_i - \beta_j}}{1 + e^{\beta_i - \beta_j}} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

$$\beta_i \geq 0.$$

После того, как найдены оценки привлекательности альтернатив (собственные векторы), можно рассчитать веса альтернатив по критериям и веса критериев по формуле (2) и найти функции полезности альтернатив по всем критериям (3), принять решение. Других отличий от метода анализа иерархий нет. Для решения задачи оптимизации (4) можно использовать надстройку MS Excel «Поиск решения» (Solver).

Ниже приведем методику расчета для обоих подходов для некоторого примера.

**Пример расчета оценок качества программного продукта**

Пусть имеется 4 вида программных продуктов, которые могут быть использованы на некотором предприятии: А, В, С и D. В качестве критериев их выбора эксперты выделили три [1, 2]:

– *функциональность* (характеризует свойство ПО, определяющее его соответствие требованиям к обработке данных и общесистемным требованиям) –  $K_1$ ;

– *надежность* (характеризует свойство ПО, определяющее его способность выполнять требуемые функции в условиях возникновения отклонений в среде функционирования) –  $K_2$ ;

– *практичность* (характеризует свойство ПО, определяющее его способность обеспечивать быстрое освоение, применение и эксплуатацию с минимальными трудозатратами с учетом характера решаемых задач и требований к квалификации обслуживающего персонала) –  $K_3$ .

Эксперты по первому критерию решили, что ПО А по сравнению с ПО В имеет умеренное преимущество (балл 3 для МАИ и 0,6 для МЛП), А по сравнению с С имеет значительное превосходство (балл 7 или 0,8), и А по сравнению с D – существенное превосходство (балл 5 или 0,6). Эти баллы записываем в первую строку таблицы. Сравнивая альтернативы В и С, эксперт решил, что В имеет превосходство большее, чем умеренное, и менее, чем существенное, поэтому в таблицу на соответствующую позицию было решено занести балл 4 (или 0,65). ПО В по сравнению с D имеет умеренное превосходство, а С и D имеют равную важность. В результате экспертные оценки программных продуктов по первому критерию приведены в табл. 3.

По аналогии эксперты по двум другим критериям сравнили попарно все виды ПО и получили следующие результаты (табл. 4, табл. 5).

Таблица 3

*Критерий «Функциональность»*

Вид ПО	МАИ				МЛП			
	A	B	C	D	A	B	C	D
A	1	3	7	5	0,5	0,6	0,8	0,7
B	1/3	1	4	3	0,4	0,5	0,65	0,6
C	1/7	1/4	1	1	0,2	0,35	0,5	0,5
D	1/5	1/3	1	1	0,3	0,4	0,5	0,5

Таблица 4

*Критерий «Надежность»*

Вид ПО	МАИ				МЛП			
	A	B	C	D	A	B	C	D
A	1	5	1/7	1/3	0,5	0,7	0,2	0,4
B	1/5	1	1/3	1/7	0,3	0,5	0,4	0,2
C	7	3	1	3	0,8	0,6	0,5	0,6
D	3	7	1/3	1	0,6	0,8	0,4	0,5

Таблица 5

*Критерий «Практичность»*

Вид ПО	МАИ				МЛП			
	A	B	C	D	A	B	C	D
A	1	3	1/3	1/7	0,5	0,6	0,4	0,2
B	1/3	1	1/3	1/5	0,4	0,5	0,4	0,3
C	3	3	1	1/2	0,6	0,6	0,5	0,45
D	7	5	2	1	0,8	0,7	0,55	0,5

Следующий этап состоит в сравнении важностей самих критериев. Эксперты считают самым важным первый критерий, он имеет умеренное превосходства над вторым и существенное над третьим. Второй критерий имеет умеренное превосходство над третьим. В результате получаем матрицу в соответствии с табл. 6.

Таблица 6

*Результаты сравнения критериев*

Критерий	МАИ			МЛП		
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_1$	$K_2$	$K_3$
$K_1$	1	3	5	0,5	0,6	0,7
$K_2$	1/3	1	3	0,4	0,5	0,6
$K_3$	1/5	1/3	1	0,3	0,4	0,5

Расчет по МАИ

Далее, в соответствии с МАИ, производим расчет собственных векторов и весов альтер-

натив по каждому критерию. Для первого критерия «Функциональность» собственный вектор альтернативы А равен  $\sqrt[4]{1 \cdot 3 \cdot 7 \cdot 5} = 3,201$ , Для второй, третьей и четвертой альтернативы собственные векторы равны:  $\sqrt[4]{\frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 4 \cdot 3} = 1,414$ ,  $\sqrt[4]{\frac{1}{7} \cdot \frac{1}{4} \cdot 1 \cdot 1} = 0,435$  и  $\sqrt[4]{\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 1} = 0,508$  соответственно.

Рассчитаем теперь веса самих видов ПО. Просуммируем элементы собственного вектора:  $3,202 + 1,414 + 0,435 + 0,508 = 5,559$ . Разделим каждый элемент собственного вектора на эту сумму, получим нормализованные веса каждого вида ПО, а именно, для ПО А:  $3,202/5,559 = 0,576$ , для других видов ПО, аналогично, 0,254, 0,078, 0,092. Следует отметить, что в сумме веса должны давать единицу. По аналогии производим расчет для остальных критериев.

Запишем результаты расчета для всех критериев в табл. 7.

Рассчитываем функции полезности для каждого вида ПО:

$$F_1 = 0,576 \cdot 0,637 + 0,128 \cdot 0,258 + 0,111 \cdot 0,105 = 0,423;$$

$$F_2 = 0,254 \cdot 0,637 + 0,057 \cdot 0,258 + 0,07 \cdot 0,105 = 0,184;$$

$$F_3 = 0,078 \cdot 0,637 + 0,517 \cdot 0,258 + 0,298 \cdot 0,105 = 0,211;$$

$$F_4 = 0,092 \cdot 0,637 + 0,298 \cdot 0,258 + 0,521 \cdot 0,105 = 0,182;$$

Видно, что максимальная функция полезности соответствует первому программному продукту А, следовательно, данное ПО и нужно выбрать для внедрения.

#### Расчет по МЛП

Рассмотрим методику расчета по методу, основанному на модели Раша оценивания латентных переменных в среде MS Excel. Подробно опишем расчет оценок по первому критерию «Функциональность».

Данные из правой части табл. 3 вводим в лист Excel на диапазон А2-Е6, как показано на рис. 1. Под латентные переменные  $\beta_i$  и  $\beta_j$  выделяем диапазоны G3-G6 и H2-K2. Вводим начальное приближение  $\beta_i$  в ячейки G3-G6 – произвольные числа, например единицы. Полученный столбец транспонируем на диапазон H2-K2, то есть вводим в H2 функцию =ТРАНСП(G3:G6), выделяем H2-K2, выводим массив с помощью F2 и затем Ctrl+Shift+Enter. В диапазон H3-K6 вводим формулы, рассчитывающие слагаемые суммы (4): в H3 вводим формулу=(B3-EXP(\$G3-H\$2))/(1+EXP(\$G3-H\$2))^2 и с помощью автозапол-

Таблица 7

Результаты расчета оценок ПО на основе МАИ

Вид ПО	Критерий «Функциональность»		Критерий «Надежность»		Критерий «Практичность»	
	Собственный вектор	Вес	Собственный вектор	Вес	Собственный вектор	Вес
<b>А</b>	3,201	0,576	0,699	0,128	0,615	0,111
<b>В</b>	1,414	0,254	0,312	0,057	0,386	0,070
<b>С</b>	0,435	0,078	2,817	0,518	1,656	0,298
<b>Д</b>	0,508	0,092	1,627	0,298	2,893	0,521
Сумма	5,559	1	5,452	1	5,550	1

Критерий	Собственный вектор	Вес
K1	2,466	0,637
K <sub>2</sub>	1	0,258
K <sub>3</sub>	0,405	0,105
K <sub>3</sub>	3,871	1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	Критерий "Функциональность", исходные данные							Слагаемые суммы (4)				
2		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>		Переменные	1	1	1	1	
3	<b>A</b>	0,5	0,6	0,8	0,7		1	0	0,01	0,09	0,04	
4	<b>B</b>	0,4	0,5	0,65	0,6		1	0,01	0	0,0225	0,01	
5	<b>C</b>	0,2	0,35	0,5	0,5		1	0,09	0,0225	0	0	
6	<b>D</b>	0,3	0,4	0,5	0,5		1	0,04	0,01	0	0	
7												
8							Целевая функция	0,345				

Рис. 1. Расчет оценок по МЛП, критерий «Функциональность»

Таблица 8

Результаты расчета оценок ПО на основе МЛП

Вид ПО	Критерий «Функциональность»	Критерий «Надежность»	Критерий «Практичность»	Функция полезности
A	0,409	0,200	0,175	<b>0,294</b>
B	0,289	0,075	0,141	<b>0,189</b>
C	0,133	0,398	0,289	<b>0,252</b>
D	0,169	0,327	0,394	<b>0,266</b>
Веса критериев	0,472	0,333	0,194	

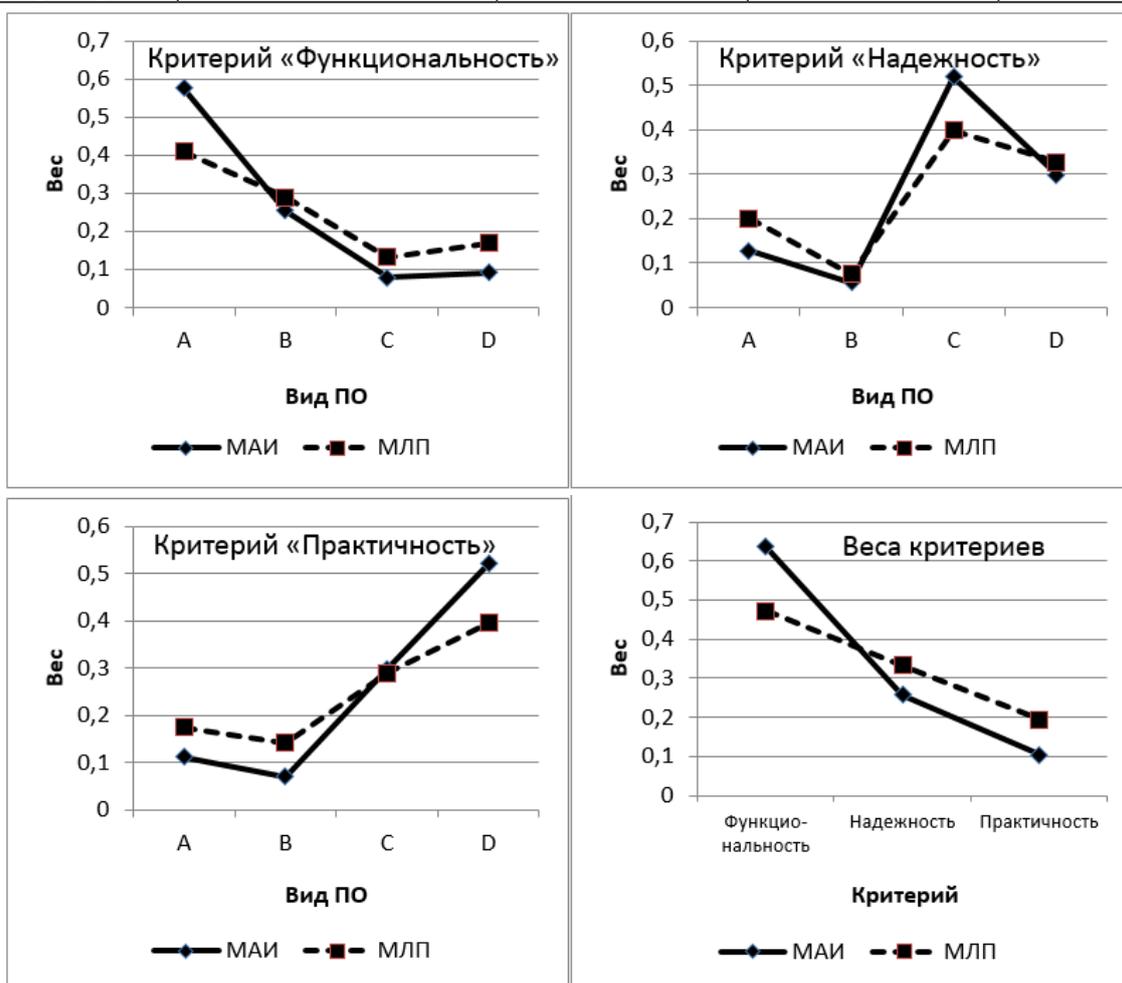


Рис. 2. Сравнение результатов оценок, полученных по МАИ и МЛП

нения распространяем ее на H3-K6. В I8 вводим целевую функцию (4): =СУММ(H3:K6). Результаты отображены на рис. 1.

Далее, запускаем надстройку «Поиск решений» (Solver). В качестве ссылки на целевую функцию даем ссылку на ячейку I8, в качестве изменяемых переменных указываем диапазон G3-G6, ставим флажок перед условием неотрицательности переменных. После выполнения надстройки в ячейках G3-G6 видим рассчитанные значения латентных переменных  $\beta_i$ . Аналогичную процедуру проделываем и с другими критериями, взяв данные из табл. 4 и табл. 5, а также находим веса критериев по данным из табл. 6.

Полученные результаты после нормализации по формуле (2), а также значения функции полезности, рассчитанные по (3), представлены в табл. 8.

Сравним результаты оценок, полученные обоими методами (рис. 2).

Видно, что общее ранжирование видов ПО для обоих методов одно и то же, однако, значения оценок различаются. Это связано с тем, что МЛП дает оценки по линейной шкале, в отличие от МАИ. Подобный результат был получен авторами при проведении большого числа вычислительных экспериментов с генерацией случайных исходных данных.

При получении итоговой оценки качества каждого вида ПО путем вычисления функции полезности (3) в данном примере можно видеть разницу в величине оценок и в итоговом ранжировании видов ПО разными методами. В данном примере оба метода ставят на первое место программный продукт А, но остальные виды ПО получают иное распределение мест по привлекательности. В других примерах ситуация может быть иная. Вопрос о качестве и адекватности оценок, методах расчета собственных векторов и критериях предпочтительности (табл. 1 и табл. 2) на данный момент остается открытым и подлежит исследованию.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Храмов В. Ю., Черная Ю. В., Десятиркова Е. Н. Оценка качества ИТ обеспечения управленческих решений с использованием нечетких ситуаций // Системы управления и информационные технологии. – № 3.1 (33). – 2008. – С. 205–208.

2. Моисеев С. И., Черная Ю. В., Паршина Е. В. Управление параметрами качества программного обеспечения на основе метода Раша оценки латентных переменных / Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2015. – № 2 (6). – С. 90–94.

3. Моисеев С. И. Модель Раша оценки латентных переменных, основанная на методе наименьших квадратов // Экономика и менеджмент систем управления. Научно-практический журнал. – 2015. – № 2.1 (16). – С. 166–172.

4. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радиосвязь, 1991.

5. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений. – М.: Логос, 2002.

6. Баркалов С. А., Киреев Ю. В., Кобелев В. С., Моисеев С. И. Модель оценивания привлекательности альтернатив в подходе Раша-анализа / Системы управления и информационные технологии. – 2014. – Т. 57. – № 3.2. – С. 209–213.

**Моисеев Сергей Игоревич** – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры информационных технологий в экономике Воронежского филиала РЭУ им. Г.В. Плеханова.  
Тел.: (473) 239-0763

**Moiseev Sergey Igorevitch** – candidate of physico-mathematical Sciences, senior lecturer of chair of information technologies in the economy of the Voronezh branch of REU G. V. Plekhanov.  
Tel.: (473) 239-0763

**Черная Юлия Викторовна** – старший преподаватель кафедры информационных технологий в экономике Воронежского филиала РЭУ им. Г.В. Плеханова.  
Тел.: (473) 239-0763  
E-mail: juli1574@mail.ru

**Chernaya Julia Viktorovna** – senior teacher of chair of information technologies in the economy of the Voronezh branch of REU G. V. Plekhanov.  
Tel.: (473) 239-0763  
E-mail: juli1574@mail.ru

**Паршина Елена Владимировна** – старший преподаватель кафедры информационных технологий в экономике Воронежского филиала РЭУ им. Г.В. Плеханова.  
Тел.: (473) 239-0763

**Parshina Elena Vladimirovna** – senior teacher of chair of information technologies in the economy of the Voronezh branch of REU G. V. Plekhanov.  
Tel.: (473) 239-0763