

17. Sawarkar K. G. Analysis and Inference of EMG Using FFT. *Proceeding of SPIT-IEEE Colloquium and International Conference, 2007*, no. 1, pp. 107.

18. Soares F., Carvalho J., Miosso C., M. de Andrade, A. da Rocha. Motor unit action potential conduction velocity estimated from surface electromyographic signals using image processing techniques. *BioMedical Engineering OnLine*, 2015. Available at: <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/14/1/84>.

19. Trabuco M., Costa M. V., F. de O. Nascimento. S-EMG signal compression based on domain transformation and spectral shape dynamic bit allocation. *BioMedical Engineering OnLine*, 27 February 2014. Available at: <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/13/1/22>.

УДК 004.021

КОМПЛЕКСНАЯ КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ИННОВАЦИОННЫХ ИТ-ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННЫХ ОПИСАНИЙ

Статья поступила в редакцию 17.02.2016, в окончательном варианте 10.03.2016

Чертина Елена Витальевна, аспирант, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: saprikinae_1912@mail.ru

Квятковская Ирина Юрьевна, доктор технических наук, профессор, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: i.kvyatkovskaya@astu.org

Рассмотрен алгоритм комплексной количественной оценки ИТ-проектов, основанный на использовании методов теории нечетких множеств для преобразования трудноформализуемых суждений экспертов в количественную форму. Авторами представлена система критериев оценивания проекта в виде иерархической структуры, которая позволяет более детально исследовать взаимосвязи между элементами системы. Предложена методика определения весов влияния для критериев в пределах выделенных групп базовых критериев на основе использования метода парных сравнений. Анализ согласованности экспертных суждений предлагается проводить как на этапе построения матриц парных сравнений, так и на этапе получения экспертных оценок. Для разработанного алгоритма приведен расчетный пример применения экспертного и нечетко-множественного методов для определения интегральной количественной оценки проекта. Затем эта оценка «распознается» на лингвистической шкале инвестиционной привлекательности. Данная методика может быть использована венчурными фондами для анализа, оценки и отбора инновационных ИТ-проектов с целью их последующей реализации.

Ключевые слова: инновационный ИТ-проект, нечетко-множественное описание экспертных суждений, матрица парных сравнений, лингвистическая оценка критериев, оценка согласованности экспертных суждений, интегральный показатель оценки, уровень инвестиционной привлекательности ИТ-проекта

THE COMPLEX QUANTITATIVE ESTIMATION OF INNOVATIVE IT-PROJECTS BASED ON FUZZY-MULTIPLE DESCRIPTIONS

Chertina Elena V., post-graduate student Russia, 414056, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: saprikinae_1912@mail.ru

Kvyatkovskaya Irina Yu., D.Sc. (Engineering), Professor, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: i.kvyatkovskaya@astu.org

The complex quantitative estimation algorithm of the IT-project based on using theory methods of indistinct sets for transformation in experts' hardly formalized judgments to a quantitative form is considered. Authors have presented criteria system for project estimation in the form of hierarchical structure that allows considering in more detail interrelations between her elements. The technique defines the scales definition of influence for criteria within the allocated groups of basic criteria with using of method of pair comparisons. The coherence analysis of expert judgments is offered to be carried out as at a stage creation of pair's matrix comparisons, and at a stage of receiving expert estimates. For developed algorithm, the settlement example of expert application and indistinct and multiple methods for definition of an integrated quantitative assessment of the project is given. Then this assessment «is distinguished» on a linguistic scale of investment appeal. This technique can be used by venture funds for the analysis, an assessment and selection of innovative IT-projects with the purpose of their realization.

Keywords: innovative IT-project, fuzzy-multiple description of expert judgment, matrix of pairwise comparisons, linguistic evaluation criteria, evaluation of coherence of expert judgment, integral index of assessment, level of investment attractiveness of the IT-project

Введение. В условиях глобализации экономики одним из важнейших вопросов является формирование глобального информационного общества, целостность которого должна быть обеспечена за счет использования современных информационных технологий (ИТ). Сегодня в России наблюдаются высокие темпы роста ИТ-отрасли. Однако, по данным ассоциации ИТ-рынка России НП «РУССОФТ» [18], отечественный ИТ-рынок ещё не достиг уровня развития, характерного для ведущих западных экономик. Таким образом, он имеет естественный потенциал для устойчивого роста.

Вместе с тем анализ рынка в разрезе сегментов показывает, что в последнее время наблюдается тенденция к снижению объема продаж и доходности оборудования (hardware), при этом сохраняется рост продаж программного обеспечения и ИТ-услуг.

Структура продаж на экспорт существенно отличается от продаж на внутреннем рынке. Особенно выделяется экспортная ориентация направления «разработка ПО на заказ». Это связано со снижением долларовой стоимости услуг российских программистов [18].

По некоторым оценкам [8], объем российского ИТ-рынка составляет всего 1 % мирового. При этом в расчете на душу населения в России объем ИТ-рынка – лишь 4,8 тыс. руб. Следовательно, у российского ИТ-рынка есть огромный, не реализованный пока потенциал как количественного, так и качественного роста.

Принципиальная инновационность данного рынка, а также ряд других благоприятствующих факторов создают беспрецедентные условия для развития венчурного финансирования ИТ-проектов в России. Однако, несмотря на высокие (в среднем) уровни рентабельности для обеспечения эффективности отраслевого венчурного финансированием, необходимо соблюдать достаточно жесткие требования при отборе ИТ-проектов. Хотя решению этих задач посвящен ряд статей, но некоторые направления исследований остаются раскрытыми недостаточно полно. Поэтому целью данной статьи является разработка эффективной системы оценки ИТ-проектов, позволяющей лицу, принимающему решения (ЛПР), определять уровень инвестиционной привлекательности проектов.

Общая характеристика проблематики статьи, постановка задачи и подходы к ее решению. Российский венчурный рынок, в т.ч. по ИТ-направлению, на сегодня находится в стадии становления. В условиях дефицита опыта построения и использования систем поддержки принятия решений (СППР) венчурного характера представляется целесообразной разработка типовых формализованных, практико-ориентированных моделей с уже готовыми средствами документального сопровождения. Учитывая преобладание ИТ-сегмента в российском варианте венчурного рынка, несомненной является необходимость учёта его отраслевой специфики.

В связи с высоким уровнем конкуренции на рынке венчурного финансирования, в том числе со стороны родственных и новых сегментов инвестирования (инвест-банки, краудфандинг), прогнозируется повышение роли экспертной функции венчурных фондов как ключевых участников рынка стартапов. Это касается и реализации функций по качественному анализу, рациональному отбору инновационных ИТ-проектов для их последующей коммерческой реализации. Более того, если фонд не сможет создать высококачественную экспертную систему по отбору и управлению ИТ-проектами, то высока вероятность его быстрого ухода с рынка. Таким образом, изучение особенностей анализа, оценки, отбора ИТ-проектов, совершенствование систем управления ИТ-проектами венчурного фонда имеет большой потенциал и значительный ожидаемый экономический эффект [10, 11].

Высокая неопределенность и риски реализации инновационных ИТ-проектов влекут за собой качественный или нечеткий количественный характер оценки таких проектов. Это делает целесообразным использование нечетко-множественного подхода при проведении их экспертной оценки.

Исходя из вышеизложенного, для комплексной количественной оценки уровня инвестиционной привлекательности инновационных ИТ-проектов необходимо разработать соответствующий алгоритм. Он, по нашему мнению, может быть представлен в следующем виде (рис. 1).

Данный алгоритм позволяет определить уровень инвестиционной привлекательности ИТ-проекта, начиная с определения весов влияния критериев оценивания и заканчивая распознаванием полученной агрегированной оценки на лингвистической шкале. Далее отдельные этапы реализации этого алгоритма рассматриваются более подробно.

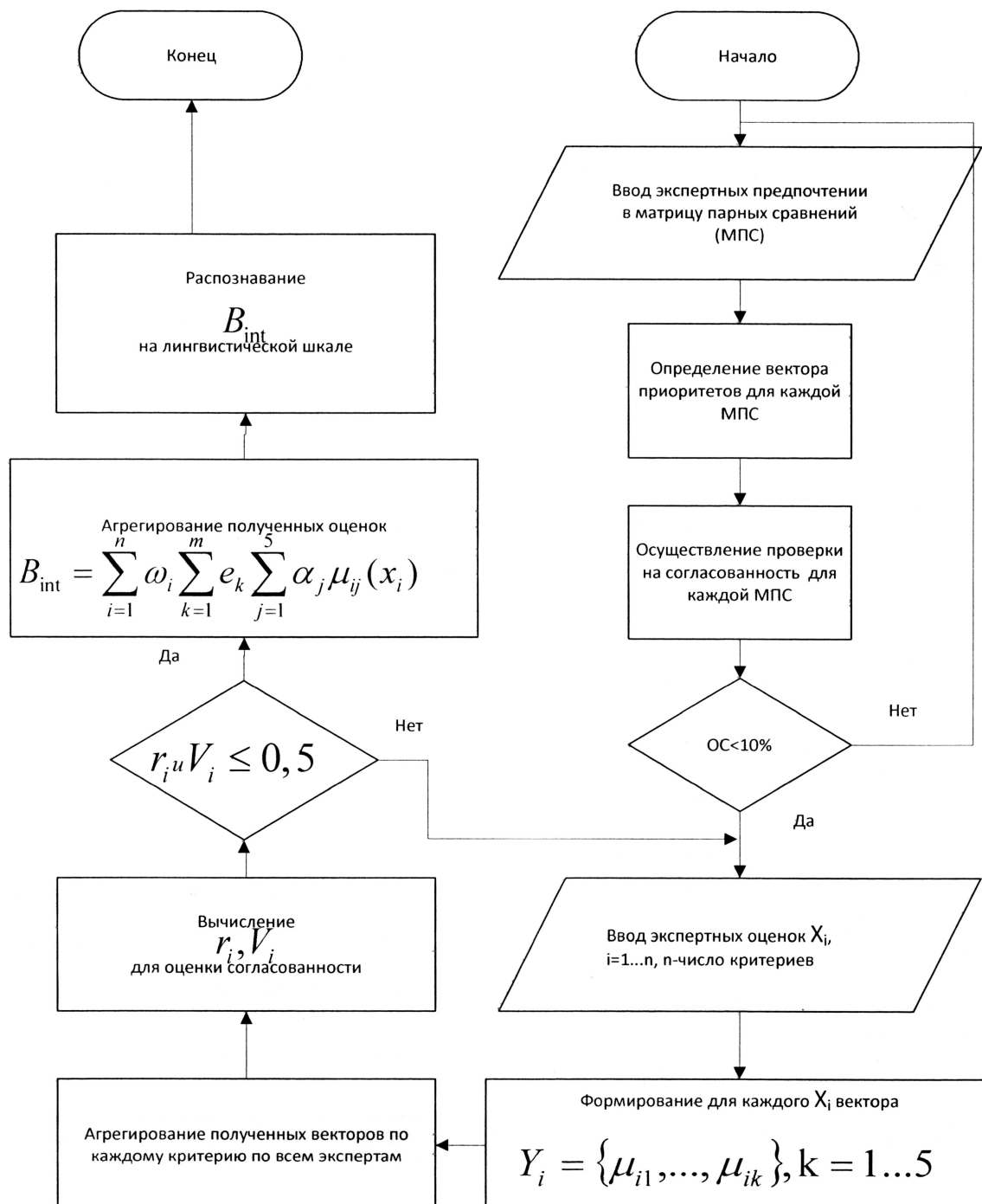


Рис. 1. Алгоритм комплексной оценки инновационных ИТ-проектов

Определение весов влияния критериев в иерархии показателей, используемых для оценки ИТ-проектов. Существуют различные способы определения коэффициентов значимости критериев [1–5, 14], основная часть которых основывается на проведении опросов экспертов с дальнейшей математической обработкой. Наиболее известны следующие способы: прямая расстановка, ранжирование критериев, метод парных сравнений, вероятностный подход, метод анализа иерархий (МАИ) и др. С учетом цели нашего исследования и большого набора критериев оценивания, воспользуемся

МАИ для декомпозиции процедуры оценки ИТ-проекта. Суть данного подхода заключается в парном сравнении критериев, влияющих на критерий, стоящий на уровень выше, по специальной шкале, разработанной Т. Саати [16, 21]. Результатом такой процедуры является формирование матрицы парных сравнений (МПС). Далее определяется собственный вектор (вектор приоритетов) матрицы, способы нахождения которого описаны в работе [16].

После нахождения собственного вектора каждой МПС осуществляется проверка на согласованность матрицы по описываемому ниже алгоритму. При этом число МПС зависит от числа выделенных групп критериев и количества экспертов, участвующих в оценивании.

Представим шаги этого алгоритма для матрицы порядка «2» ($n = 2$).

1. Умножение элементов МПС на собственный вектор матрицы. При этом получим новый вектор.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} \\ c_{21} \end{bmatrix}.$$

2. Деление каждого элемента полученного нового вектора на соответствующий элемент собственного вектора матрицы. Таким образом, определим еще один вектор.

$$\begin{bmatrix} c_{11} / b_{11} \\ c_{21} / b_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11} \\ d_{21} \end{bmatrix}.$$

3. Сложение элементов полученного вектора и деление этой суммы на количество элементов (λ_{max}).

$$\lambda_{max} = (d_{11} + d_{21}) / 2.$$

4. Чем ближе λ_{max} к n (числу критериев в МПС), тем более согласованы предпочтения эксперта при парном сравнении.

Отклонение от согласованности называется индексом согласованности (Ω) и определяется по формуле [16]:

$$\Omega = (\lambda_{max} - n) / (n - 1). \quad (1)$$

Индекс согласованности позволяет осуществлять контроль за транзитивностью, то есть если эксперт считает что критерий x_1 превосходит критерий x_2 , а x_2 превосходит x_3 , то x_3 не может превосходить x_1 .

Относительная согласованность (Ψ) определяется по формуле:

$$\Psi = (\Omega / C) 100\%, \quad (2)$$

где C – средний случайный индекс, значения которого определяются из таблицы 1 в зависимости от порядка матрицы « n » [16].

Таблица 1

Значения среднего случайного индекса для различных порядков матрицы

Порядок матрицы, n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Качество экспертной оценки определяется уровнем Ψ . Если Ψ не более 10 %, то это означает, что матрица согласована [16].

Ниже в качестве примера представлены результаты парных сравнений в виде МПС двух экспертов, а также произведена проверка на согласованность экспертных суждений по описанной выше методике.

Таблица 2

Примеры МПС для двух экспертов и 6-ти критериев

Эксперт 1

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	Собственный вектор матрицы	$N = 6$
x_1	1	3	0,2	0,2	0,125	0,5	0,056	$\lambda_{max} = 6,54$
x_2	0,333	1	0,333	0,2	0,167	0,125	0,035	$\Omega_1 = 0,11$

x ₃	5	3	1	2	1	3	0,266	Ψ ₁ = 8,7
x ₄	5	5	0,5	1	0,5	3	0,205	
x ₅	8	6	1	2	1	3	0,323	
x ₆	2	8	0,333	0,333	0,333	1	0,115	
Итого							1,000	

Эксперт 2

	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	Собственный вектор матрицы	n = 6 λ _{max} = 7,02 Ω ₂ = 0,2 Ψ ₂ = 16,4
x ₁	1	2	0,2	0,25	0,167	0,125	0,044	
x ₂	0,5	1	0,333	0,2	0,143	0,167	0,037	
x ₃	5	3	1	3	3	4	0,348	
x ₄	4	5	0,333	1	0,5	4	0,188	
x ₅	6	7	0,333	2	1	4	0,268	
x ₆	8	6	0,25	0,25	0,25	1	0,116	
Итого							1,000	

При сравнении результатов оценивания двумя экспертами видно, что лишь МПС первого эксперта удовлетворяет условию $\Psi_1 \leq 10\%$ – это означает, что матрица согласована и оценка проведена качественно, с соблюдением свойства транзитивности. Результаты оценивания второго эксперта требуют пересмотра.

Нечеткая экспертная оценка критериев проекта. Для принятия решений по финансированию ИТ-проектов необходима обработка определенного количества экспертной информации, которая может быть представлена в виде трудноформализуемых интуитивных суждений эксперта. Если этим суждениям придать вербальную форму, то на базе формализмов теории нечетких множеств, эти суждения могут получить количественную оценку, формируя обособленный контент исходной экспертной информации [7, 12]. Назовем этот контент экспертной моделью. Трудноформализуемые интуитивные суждения эксперта обычно представлены в виде лингвистических оценок: «Очень низкий», «Низкий», «Удовлетворительный», «Высокий», «Очень высокий». Вариант с 5-ю градациями в большинстве случаев является оптимальным: если градаций слишком мало, то экспертные оценки оказываются слишком грубые; а если слишком много, то эксперты затрудняются в выборе (т.е. их выбор становится менее уверенным). Будем называть совокупность этих оценок лингвистической неопределенностью.

Лингвистическая неопределенность экспертов, попадая в экспертную модель, будет преобразовываться в функцию принадлежности соответствующего носителя оценок. На выходе получаем преобразование лингвистической неопределенности в степень уверенности эксперта в той или иной оценке.

Задачу нечеткой экспертной оценки ИТ-проекта опишем кортежем: $\langle X, \mathfrak{E}, A_i, Y_i, \mu_{np} \rangle$, где $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ – конечное множество из n критериев, участвующих в оценке ИТ-проекта, $\mathfrak{E} = \{\mathfrak{E}_1, \dots, \mathfrak{E}_m\}$ – конечное множество из m экспертов, каждый из которых использует собственную оценочную систему. Каждому критерию $x_i \in X$ поставлен в соответствие вектор $A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}\}$, $i = \overline{1, n}$, определяющий совокупность из m оценок экспертов для i -ого критерия; a_{im} – экспертная оценка; μ_{np} – функция принадлежности, характеризующая степень уверенности эксперта в оценке с использованием лингвистических градаций качества (например, стандартного пятифакторного классификатора). Используя шкалу лингвистических оценок {"ОВ", "В", "С", "Н", "ОН"}, сформируем в соответствии с каждым критерием вектор $Y_i = \{\mu_{i1}, \dots, \mu_{ik}\}$, $k = 1 \dots 5$, элементы которого определяют качественное значение признака.

Для оценки ИТ-проекта используем стандартный пятифакторный классификатор на «01-носителе», позволяющий осуществлять взаимную компенсацию между лингвистическими неопределенностями экспертов LU^+ и LU^- (рис. 2).

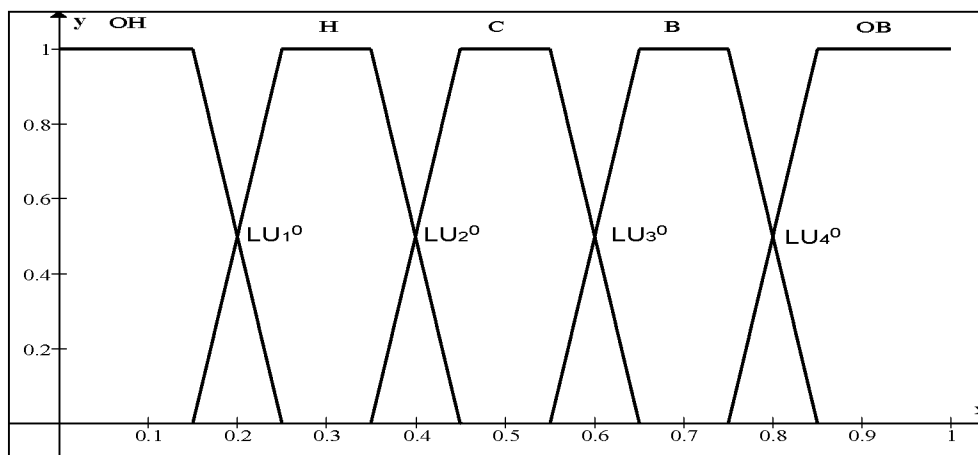


Рис. 2. Система трапециевидных функций принадлежности на «01-носителе»
 (пятифакторный 01-классификатор)

Если преобладает свойство LU^+ , то свойство LU^- проявляется в меньшей степени, и наоборот. Однако существует и нейтральная точка LU^0 – точка «наибольшего противоречия», в которой оба свойства проявляются в одинаковой мере [9].

Вблизи таких нейтральных точек на интервалах $[LU_i^0 - \Delta; LU_i^0 + \Delta]$ существует зона неопределенности эксперта в оценке. Эта неопределенность выражается наклонным ребром трапециевидного нечеткого числа и удовлетворяет условиям «серой» шкалы Поспелова [9]: монотонность в убывании экспертной уверенности в классификации по мере роста фактора и наличие нейтральной точки.

Лингвистическую переменную определим как кортеж $\langle \beta, T(\beta), U_\beta \rangle$, где β – название лингвистической переменной «Степень (уровень) качества критерия», $T(\beta)$ – терм-множество значений лингвистической переменной {"ОВ", "В", "С", "Н", "ОН"}, U_β – универсум нечетких переменных, входящих в лингвистическую переменную β . Для определения лингвистической переменной используются линейно-кусочные трапециевидные функции принадлежности μ_{β} [13].

В результате распознавания нечеткой экспертной оценки i -ого критерия на лингвистической шкале, формируется вектор численных оценок m экспертами $A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}\}$, $i = \overline{1, n}$. Полученный вектор подвергается процедуре анализа согласованности численных экспертных оценок. Для такого анализа могут быть использованы абсолютные и относительные статистические показатели. К абсолютным статистическим показателям относятся, например, вариационный размах, среднее квадратическое отклонение, дисперсия. К относительным – коэффициент осцилляции r_i и коэффициент вариации V_i [15, 17]:

$$r_i = (\max a_{ik} - \min a_{ik}) / \bar{a}_i, \quad (3)$$

$$V_i = \left(\sqrt{\frac{1}{m} * \sum_{k=1}^m (a_{ik} - \bar{a}_i)^2} \right) / \bar{a}_i, \quad (4)$$

где a_{ik} – оценка i -го критерия k -ым экспертом; $\bar{a}_i = \sum_{k=1}^m a_{ik} / m$ – обобщенная оценка i -го критерия; m – общее число экспертов.

Коэффициенты в (3), (4) принимают значения в диапазоне $[0; 1]$ и чем меньше их значение, тем выше уровень согласованности мнений экспертов. В случае, когда необходимо оценить согласованность сразу по всему множеству критериев $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, применяется коэффициент, корреляции Пирсона (но только для $m = 2$ [17]):

$$r_{12}^{kop} = \frac{r_{12}^{koe}}{\sigma_1 \sigma_2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_{1i} - \bar{a}_1)(a_{2i} - \bar{a}_2) / \sqrt{\frac{1}{(n-1)^2} \sum_{i=1}^n (a_{1i} - \bar{a}_1)^2 \sum_{i=1}^n (a_{2i} - \bar{a}_2)^2}, \quad (5)$$

где r_{12}^{koe} – коэффициент ковариации оценок 1-го и 2-го экспертов; σ_1, σ_2 – среднеквадратические отклонения оценок 1-го и 2-го экспертов; \bar{a}_1, \bar{a}_2 – среднее арифметическое оценок 1-го и 2-го экспертов.

Мнения экспертов полностью согласованы в случае $r_{12}^{kop} = 1$, мнения полностью противоположны при $r_{12}^{kop} = -1$, и мнения независимы при $r_{12}^{kop} = 0$.

После проведения анализа согласованности экспертных мнений осуществляется агрегирование критериев в интегральный показатель, например с использованием аддитивной функции свертки.

Комплексная оценка ИТ-проекта рассчитывается по формуле:

$$B_{int} = \sum_{i=1}^n \omega_i \sum_{k=1}^m e_k \sum_{j=1}^5 \alpha_j \mu_{ij}(x_i), \quad (6)$$

где ω_i – вес i -го критерия; n – число критериев оценивания проекта; e_k – коэффициент компетентности k -го эксперта; m – число экспертов; α_j – узловые точки соответствующей лингвистической переменной; $\mu_{ij}(x_i)$ – значение функции принадлежности j -го качественного уровня относительно текущего значения критерия x_i на шкале «0–1».

В качестве узловых точек α_j для каждого термина лингвистической переменной предлагаются следующие значения: очень низкое – 0,1; низкое – 0,3; среднее – 0,5; высокое – 0,7; очень высокое – 0,9.

Данные точки являются абсциссами максимумов соответствующих функций принадлежности (см. рис. 2) и равномерно стоят друг от друга на «01-носителе».

После проведения всех необходимых расчетов и нахождения интегрального показателя B_{int} , необходимо осуществить его распознавание на основе стандартного пятифакторного нечеткого 01-классификатора [13]. Решающие правила для метода распознавания отражены в таблице 3.

Таблица 3

Классификация уровня интегрального показателя B_{int}

Диапазон значений B_{int}	Уровень интегрального показателя на стандартном пятифакторном 01-классификаторе	Уровень оценочной уверенности
$0 \leq B_{int} \leq 0.15$	ОН	1
$0.15 < B_{int} < 0.35$	ОН	$\mu_{ОН} = 10(0.25 - B_{int})$
	Н	$\mu_{Н} = 1 - \mu_{ОН}$
$0.25 \leq B_{int} \leq 0.35$	Н	1
$0.35 < B_{int} < 0.45$	Н	$\mu_{Н} = 10(0.45 - B_{int})$
	С	$\mu_{С} = 1 - \mu_{Н}$
$0.45 \leq B_{int} \leq 0.55$	С	1
$0.55 < B_{int} < 0.65$	С	$\mu_{С} = 10(0.65 - B_{int})$
	В	$\mu_{В} = 1 - \mu_{С}$
$0.65 \leq B_{int} \leq 0.75$	В	1
$0.75 < B_{int} < 0.85$	В	$\mu_{В} = 10(0.85 - B_{int})$
	ОВ	$\mu_{ОВ} = 1 - \mu_{В}$
$0.85 \leq B_{int} \leq 1.0$	ОВ	1

Применение использованной методики на практике. Рассматриваемый далее пример носит иллюстративный характер. Проведем комплексную оценку инновационного ИТ-проекта «Облачный коммуникативный сервис организации событий “ЭкспоЭРА”». Проект относится к области облачных технологий и сервисов. Он предназначен для выставочных операторов, иных компаний и частных лиц из сегмента Event-management. Срок реализации проекта 1 год, требуемый объем финансирования 5 млн руб. В качестве экспертов были привлечены преподаватель профильной кафедры Астраханского государственного технического университета (к.т.н., доцент, область научных интересов – проектирование и управление экономическими и финансовыми информационными системами предприятий и организаций, стаж научно-педагогической деятельности – 10 лет), руководитель ИТ-департамента ГК «Пилот» (стаж работы в сфере управления ИТ-проектами – 7 лет); руководитель ИТ-компании, специализирующейся на комплексных ИТ-решениях для корпоративного сектора (опыт работы в качестве руководителя – 7 лет). Приведенные сведения показывают компетентность экспертов в рассматриваемых вопросах и используются для учета «весомости» мнений экспертов. Так, с учетом представленных данных определены следующие коэффициенты компетентности: 0,3 – для эксперта 1; 0,5 – для эксперта 2; 0,2 – для эксперта 3.

Экспертам был представлен паспорт проекта. Паспорт составлен с учетом рекомендаций ведущих венчурных фондов [10]. В этом паспорте дано полное описание проекта на 4-х страницах по следующим параметрам: стадии реализации проекта (Startup, Early stage, Growth stage); характеристика создаваемой научно-технической продукции; область применения; характеристика участников проекта; наличие свидетельств о регистрации объектов интеллектуальной собственности: программ для ЭВМ, патентов, других разработок; требуемое финансирование; оценка ожидаемой экономической эффективности; методы маркетинга; риски и угрозы. Помимо этого прилагается прогнозный отчет о движении денежных потоков по проекту и документы, характеризующие финансово-хозяйственную деятельность компании – заявителя.

На первом этапе экспертам предлагалось определить значимость критериев оценивания методом парных сравнений, основанном на МАИ [6, 19, 20]. На рисунке 4 показано обобщенное представление иерархии критериев оценивания ИТ-проектов $HC = \{L, T\}$ $n = 3$, где $L = \{L_i\}$, $i = 1..n$ – множество уровней иерархии; $T = \{t_{ij}\}$ – множество вершин иерархии, $j = 1..k$, k – порядковый номер вершины на i -ом уровне иерархии.

Сначала парные сравнения проводились на уровне L_3 по каждой группе показателей **A**. Аналогичным образом проводились парные сравнения критериев группы **A** уровня L_2 . В результате было сформировано 18 МПС на третьем уровне иерархии и 3 МПС на втором уровне иерархии.

Далее по формулам (1), (2) была проведена оценка согласованности матриц парных сравнений, сделанных экспертами. В процессе анализа согласованности МПС каждого эксперта выявлялись нарушения свойства транзитивности, и осуществлялась повторная оценка теми же экспертами до тех пор, пока не выполнялось условие $\Psi_1 \leq 10\%$. Найденные в результате обработки МПС трех экспертов весовые коэффициенты критериев усреднялись по методу среднего геометрического с дальнейшей нормализацией каждого критерия. В результате был получен вектор, элементами которого являются веса значимости критериев, необходимые для агрегирования экспертных оценок на следующем этапе.

Экспертная оценка проекта проводилась с использованием шкалы от 0 до 1. Каждому критерию каждым экспертом присваивалась оценка на данной шкале. Затем осуществлялось лингвистическое распознавание по функциям принадлежности на стандартном пятифакторном классификаторе, и проводился анализ согласованности экспертных мнений (см. табл. 3).

Результаты представлены в таблице 4, причем для расчета коэффициента осцилляции и коэффициента вариации используются формулы (3) и (4).

Таблица 4

Результаты экспертных оценок критериев ИТ-проекта

Критерий	Оценки экспертов			Общая	Веса значимости	Коэф. осцилляции	Коэф. вариации
	1	2	3				
A1 «Актуальность проекта»				0,211	0,048	–	–
x1	0,14	0,24	0,2	0,202	0,712	0,22	0,21
x2	0,14	0,3	0,2	0,232	0,288	0,25	0,21

A2 «Характеристика создаваемой научно-технической продукции»				0,293	0,034	–	–
x3	0,36	0,42	0,3	0,378	0,272	0,33	0,14
x4	0,2	0,24	0,3	0,24	0,061	0,21	0,17
x5	0,2	0,3	0,3	0,27	0,519	0,38	0,18
x6	0,16	0,26	0,3	0,238	0,148	0,28	0,25
A3 «Реализуемость проекта»				0,343	0,288	–	–
x7	0,4	0,4	0,44	0,408	0,113	0,10	0,05
x8	0,38	0,3	0,3	0,324	0,081	0,24	0,12
x9	0,3	0,3	0,3	0,3	0,290	0,00	0,00
x10	0,3	0,36	0,3	0,33	0,457	0,19	0,09
x11	0,6	0,56	0,5	0,56	0,060	0,18	0,07
A4 «Маркетинг»				0,416	0,195	–	–
x12	0,44	0,5	0,5	0,482	0,178	0,13	0,06
x13	0,38	0,4	0,4	0,394	0,517	0,05	0,02
x14	0,38	0,4	0,5	0,414	0,305	0,28	0,12
A5 «Риски»				0,420	0,302	–	–
x15	0,32	0,46	0,5	0,426	0,262	0,12	0,18
x16	0,32	0,46	0,5	0,426	0,039	0,12	0,18
x17	0,58	0,64	0,58	0,61	0,085	0,10	0,05
x18	0,3	0,3	0,4	0,32	0,106	0,30	0,14
x19	0,5	0,4	0,4	0,43	0,087	0,23	0,11
x20	0,4	0,46	0,4	0,43	0,151	0,14	0,07
x21	0,4	0,36	0,3	0,36	0,142	0,28	0,12
x22	0,36	0,36	0,3	0,348	0,092	0,18	0,08
x23	0,58	0,6	0,5	0,574	0,037	0,18	0,08
A6 «Финансы»				0,383	0,132	–	–
x24	0,48	0,5	0,7	0,534	0,117	0,19	0,18
x25	0,3	0,3	0,6	0,36	0,329	0,25	0,35
x26	0,34	0,3	0,5	0,352	0,402	0,23	0,23
x27	0,32	0,4	0,5	0,396	0,151	0,18	0,18

На последнем этапе находилась комплексная оценка B_{int} путем агрегирования критериев оценивания по формуле (6). Результаты распознавания величины $B_{int} = 0,38$ на шкале инвестиционной привлекательности представлены в таблице 5.

Таблица 5

Распознавание комплексной оценки на лингвистической шкале инвестиционной привлекательности ИТ-проекта

0,0	0,7	0,3	0,0	0,0
Очень низкая ИП	Низкая ИП	Средняя ИП	Высокая ИП	Очень высокая ИП

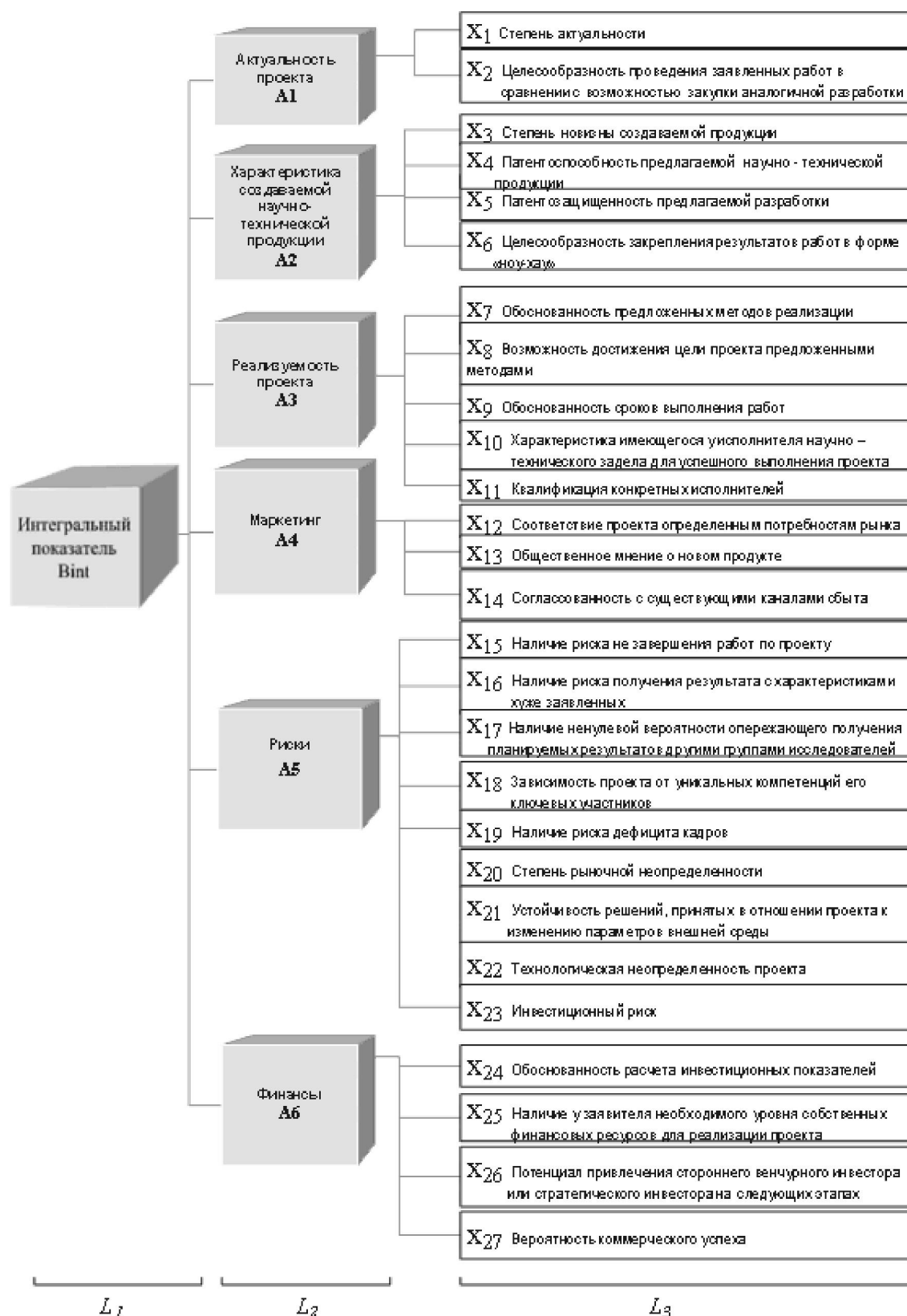


Рис. 4. Иерархическая структура критериев оценивания ИТ-проекта

Таким образом, по данным проведенной экспертизы с вероятностью 0,7 можно сделать вывод, что ИТ-проект «Облачный коммуникативный сервис организации событий “ЭкспоЭРА”» обладает низкой инвестиционной привлекательностью и с вероятностью 0,3 – средней инвестиционной привлекательностью.

Заключение. Предложен алгоритм комплексной количественной оценки инвестиционной привлекательности ИТ-проектов. Он позволяет учесть нечеткий характер экспертных суждений в процессе оценки проекта по выбранным критериям.

Методика распознавания полученной комплексной количественной оценки ИТ-проекта на лингвистической шкале инвестиционной привлекательности может быть использована ЛПР для принятия управленческих решений по отбору и финансированию проектов венчурным фондом.

В перспективе целесообразно создание компьютеризованной СППР, позволяющей автоматизировать повторяющиеся расчеты по данной методике. Это сделает ее использование более привлекательным для потенциальных пользователей за счет наличия «ассистирующих подсказок» в отношении состава и последовательности выполняемых действий, снижения трудоемкости расчетов.

Список литературы

1. Ажмухамедов И. М. Введение метрических характеристик для решения задачи оценки и управления рисками / И. М. Ажмухамедов, О. Н. Выборнова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 3. – С. 10–22.
2. Айвазян С. А. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности / С. А. Айвазян и другие. – Москва : Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
3. Анохин А. М. Методы определения коэффициентов важности критериев / А. М. Анохин и др. // Автоматика и телемеханика. – 1997. – № 8. – С. 3–35.
4. Брумштейн Ю. М. Анализ некоторых моделей группового управления рисками / Ю. М. Брумштейн, О. Н. Выборнова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 64–72.
5. Брумштейн Ю. М. Анализ рисков информационной безопасности организаций, связанных с расположением, конструкциями и особенностями эксплуатации зданий / Ю. М. Брумштейн, И. А. Дюдиков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 148–167.
6. Бялецкая Е. М. Формирование набора показателей для оценки качества управления жилыми домами / Е. М. Бялецкая, И. Ю. Квятковская, В. Ф. Шуршев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 2. – С. 143–149.
7. Демич О. В. Метод самоорганизации поиска и его применение для задачи принятия решения / О. В. Демич, В. Ф. Шуршев // Системы управления и информационные технологии. – 2005. – № 3 (20). – С. 14–16.
8. Деньги будущего. Результаты 2014. Тренды 2015. Аналитический отчет венчурного фонда Life.SREDA. – Режим доступа: http://life-sreda.ru/MoneyOfTheFuture_2015_rus.pdf (дата обращения 20.02.2016).
9. Квятковская И. Ю. Интегрированные механизмы информационной поддержки принятия решений крупномасштабной территориально-распределенной экономической системы / И. Ю. Квятковская, В. Ф. Шуршев, К. И. Квятковский // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2010. – Т. 4, № 2. – С. 181–189.
10. Квятковская И. Ю. Разработка алгоритма подбора приоритетных венчурных ИТ-проектов / И. Ю. Квятковская, Е. В. Чергина // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2015. – № 4. – С. 118–123.
11. Лавриченко О.В. Разработка когнитивных моделей управления ограниченными инновационными ресурсами предприятий на базе неманипулируемых механизмов принятия решений // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 3. – С. 10–24.
12. Набережная А. В. Обзор количественных методов оптимизации размещения бизнес-объектов / А. В. Набережная, О. М. Пшкульская // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012. – № 1 (17). – С. 142–146.
13. Недосекин А. О. Финансовый менеджмент в расплывчатых условиях. – Режим доступа: http://www.mirkin.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=1194&Itemid=145 (дата обращения 20.02.2016).
14. Олейников Д. П. Инверсия в методах принятия решений / Д. П. Олейников, Л. Н. Бутенко, С. П. Олейников // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 2 (22). – С. 146–150.
15. Орлов А. И. Устойчивость в социально-экономических моделях / А. И. Орлов. – Москва : Наука, 1979. – 296 с.
16. Саати Т. Принятие решений: метод анализа иерархий : пер. с англ. / Т. Саати. – Москва : Радио и связь, 1993. – 278 с.
17. Умеров А. Н. Методы и программные средства аппроксимации экспериментальных данных / А. Н. Умеров, В. Ф. Шуршев // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2005. – № 1 (24). – С. 97–104.

18. Экспорт российской индустрии разработки программного обеспечения : 12-е ежегодное исследование. – НИП «Руссофт», 2015. – Режим доступа: <http://www.russoft.ru/files/2015rus.pdf> (дата обращения 20.02.2016).
19. Al-Harbi K. M. A.-S. Application of the AHP in project management / K. M. A.-S. Al-Harbi // International journal of project management. – 2001. – № 19 (1). – P. 19–27.
20. Bahurmoz A. M. The analytic hierarchy process at Dar Al-Hekema / A. M. Bahurmoz // Saudi Arabia. Interfaces. – 2003. – Vol. 33, № 4. – P. 70–78.
21. Saaty T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures / T. L. Saaty // Journal of mathematical Psychology. – 1977. – № 15 (3). – P. 234–281.

References

1. Azhmukhamedov I. M., Vybornova O. N. Vvedeniye metriceskikh harakteristik dlya resheniya zadachi ozenki i upravleniya riskami [Entering of the metric characteristics in solving problems of risk assessment and management]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 4, pp. 10–22.
2. Ayvazaryan S. A., et al. *Prikladnaya statistika: klassifikatsiya i snizhenie razmernosti* [Applied Statistics: Classification and reduction of dimension], Moscow, Finansy i statistika Publ., 1989. 607 p.
3. Anokhin A. M., et al. Metody opredeleniya koeffitsientov vazhnosti kriteriev [Methods for determination of the criteria importance coefficients]. *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and Remote Control], 1997, no. 8, pp. 3–35.
4. Brumshteyn Yu. M., Vybornova O. N. Analiz nekotorykh modeley gruppovogo upravleniya riskami [Analysis of some models for group risk management]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 4, pp. 64–72.
5. Brumshteyn Yu. M., Dyudikov I. A. Analiz riskov informatsionnoy bezopasnosti organizatsii, svyazannykh s raspolozheniem, konstruktsiyami i osobennostyami ekspluatatsii zdaniy [Risk analysis of the information security for organizations connected with buildings arrangement, designs and operation features]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 4, pp. 148–167.
6. Byaletskaya Ye. M., Kvyatkovskaya I. Yu., Shurshev V. F. Formirovaniye nabora pokazateley dlya otsenki kachestva upravleniya zhilyimi domami [Formation a set of indicators to assess the quality of management of residential buildings]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computation and Informatics], 2011, no. 2, pp. 143–149.
7. Demich O. V., Shurshev V. F. Metod samoorganizatsii poiska i ego primeneniye dlia zadachi priniatiya resheniya [Method of self-searching and its application to decision-making problems]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* [Control Systems and Information Technologies], 2005, no. 3 (20), pp. 14–16.
8. *Dengi budushhego. Rezultaty 2014. Trendy 2015. Analiticheskiy otchet venchurnogo fonda Life.SREDA*. [Future Money. The results of the 2014 Trends 2015. The analytical report of the venture fund]. Available at: http://life-sreda.ru/MoneyOfTheFuture_2015_rus.pdf.
9. Kvyatkovskaya I. Yu., Shurshev V. F., Kvyatkovskiy K. I. Integrirovannyye mekhanizmy informatsionnoy podderzhki prinyatiya resheniy krupnomasshtabnoy territorialno-raspredeleyemoy ekonomicheskoy sistemy [The integrated mechanisms of information support of decision-making of the large-scale territorial distributed economic system]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Saratov Technical University], 2010, vol. 4, no. 2, pp. 181–189.
10. Kvyatkovskaya I. Yu., Chertina E.V. Razrabotka algoritma podbora prioritnykh venchurnykh IT- proektov [The development of algorithm of selection of the prior IT- projects]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computation and Informatics], 2015, no. 4, pp. 118–123.
11. Lavrichenko O. V. Razrabotka kognitivnykh modeley upravleniya ograniченными innovatsionnymi resursami predpriyatiya na baze nemanipuliruemyykh mekhanizmov prinyatiya resheniy [Cognitive management modeling for an innovative enterprise resource based on non-manipulable mechanism of decision-making]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 3, pp. 10-24.
12. Naberezhnaya A. V., Shikulskaya O. M. Obzor kolichestvennykh metodov optimizatsii razmeshcheniya biznes-obektov [The review of quantitative methods for optimize the placement of business objects]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2012, no. 1 (17), pp. 142–146.
13. Nedosekin A. O. Finansovyy menedzhment v rasplyvchatykh usloviyakh [Fuzzy financial management]. Available at: http://www.mirkin.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=1194&Itemid=145.
14. Oleynikov D. P., Butenko L. N., Oleynikov S. P. Inversiya v metodakh prinyatiya resheniy [Inversion in decision-making methods]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 2 (22), pp. 146–150.
15. Orlov A. I. *Ustoychivost v sotsialno-ekonomicheskikh modelyakh* [Stability in the social and economic models], Moscow, Nauka Publ., 1979. 296 p.

16. Saati T. *Prinyatie resheniy: metod analiza ierarkhiy* [Decision making: method of hierarchy analysis]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1993. 278 p.
17. Umerov A. N., Shurshev V. F. Metody i programnye sredstva approksimatsii eksperimentalnykh dannykh [Methods and software approximation of experimental data]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University], 2005, no. 1 (24), pp. 97–104.
18. *Eksport rossiyskoy industrii razrabotki programmogo obespecheniya : 12-e ezhegodnoe issledovanie* [Export of Russian software development industry. The 12th annual survey], NP «Russoft» Publ., 2015. Available at: <http://www.russoft.ru/files/2015rus.pdf>.
19. Al-Harbi K. M. A.-S. Application of the AHP in project management. *International journal of project management*, 2001, no. 19 (1), pp. 19–27.
20. Bahurmoz A. M. The analytic hierarchy process at Dar Al-Hekema. *Saudi Arabia. Interfaces*, 2003, vol. 33, no. 4, pp. 70–78.
21. Saaty T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical; Psychology*, 1977, no. 15 (3), pp. 234–281.

УДК 621.39: 004.02

МОДЕЛИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ ПАКЕТА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ

Статья поступила в редакцию 09.02.2016, в окончательном варианте 03.03.2016.

Жирнова Алина Вадимовна, аспирант, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: apleshakova@rambler.ru

Шуришев Валерий Федорович, доктор технических наук, профессор, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: v.shurshev@mail.ru

Плешакова Людмила Александровна, кандидат технических наук, доцент, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: lpleshakova@rambler.ru

Гладких Светлана Михайловна, магистрант, Астраханский государственный технический университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, svetlan-gladkik@yandex.ru

Предложена теоретико-множественная модель деятельности компании по предоставлению телекоммуникационных услуг (ТКУ). Показан круг потенциальных пользователей мультисервисных сетей. Приведены результаты анализа регионального рынка ТКУ. Сформулирована постановка задачи рационального формирования пакета ТКУ, предоставляемых на основе мультисервисных технологий (МСТ), по необходимым для клиентов требованиям. Формализовано описание иерархической структуры целей для рационального выбора пакета ТКУ, которое позволяет интегрировать все параметры выбора в единую систему. Определена также направленность локальных показателей при формировании пакета ТКУ. Особое внимание уделено локальному показателю «Подключение к сети Интернет». Определена направленность целевых функций для этого показателя. Предложена теоретико-множественная модель рационального выбора пакета ТКУ, предоставляемых с помощью МСТ. Показано, что решением многокритериальной задачи выбора пользователем пакета ТКУ является парето-оптимальное множество.

Ключевые слова: пакет телекоммуникационных услуг, критерии выбора, характеристики услуг, мультисервисные технологии, парето-оптимальное множество, теоретико-множественная модель, иерархическая структура целей

MODEL USERS OF MULTI-CRITERIA SELECTION OF TELECOMMUNICATION SERVICES PACKAGE IN MULTISERVICE NETWORKS

Girnova Alina V., post-graduate student, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: apleshakova@rambler.ru

Shurshev Valeriy F., D.Sc. (Engineering), Professor, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: v.shurshev@mail.ru

Pleshakova Ludmila A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Astrakhan State Technical University, 16 Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: lpleshakova@rambler.ru