

С.В. Бухарин,
доктор технических наук, профессор,
Воронежская государственная
технологическая академия

А.В. Мельников,
кандидат технических наук

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ЭКСПЕРТИЗА ERP-СИСТЕМ С УЧЕТОМ СТОИМОСТНО-ВНЕДРЕНЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Предложена методика многокритериальной экспертной оценки ERP-систем, основанная на методе анализа иерархий. Введено понятие признаков (частных критериев) отрицательного эффекта и обобщено понятие функции цены. Проведен сравнительный анализ систем одного класса.

MULTICRITERIA EXPERT ESTIMATION OF ERP-SYSTEMS TAKING ACCOUNT INTO PRICE CHARACTERISTICS

The technique of multicriteria expert estimation of ERP-systems, based on a method of the analysis of hierarchies, is offered. The concept of signs (private criteria) of negative effect is entered and the concept of function of the price is generalized. The comparative analysis of systems of one class is carried out.

Введение. Эффективным способом решения проблемы выбора наилучшей системы автоматизации бухгалтерского учета является применение экспертных оценок. Как правило, при этом используются основные положения теории нечетких множеств. В работе [1] были введены как детерминированный, так и нечетко-множественный показатели «качество — цена» и предложено разделение признаков объекта на три Псущепы (кластера): количественные признаки, признаки наличия и качественные признаки. Однако задача выбора проекта (системы автоматизации) является более сложной, чем рассмотренная в работе [1] задача выбора товара, и требует рассмотрения не только функции цены, но и комплекса стоимостно-внедренческих характеристик.

Целью данной работы является разработка методика многокритериального оценивания известных проектов автоматизации бухгалтерского учета. Для достижения этой цели требуется решить следующие задачи: 1) применить для каждого из упомянутых кластеров разновидность метода анализа иерархий Т.Саати; 2) ввести и обосновать понятие признаков отрицательного эффекта (ПОЭ); 3) обобщить понятие функции цены, перейдя к функции стоимостно-внедренческих характеристик; 4) применить разработанную методику к оценке зарубежных и отечественных систем автоматизации бухгалтерского учета одного класса сложности.

В зарубежной литературе системы автоматизации бухгалтерского учета и управления предпринимательской деятельностью известны под термином ERP (Enterprise Resource Planning)-системы. В данной работе мы рассмотрим основные ERP-решения как западных, так и отечественных разработчиков [2], ориентированные на малый и средний бизнес и представленные на российском рынке.

Комплексный показатель «качество — цена». Вначале рассмотрим мультипликативную модель детерминированного комплексного показателя «качество — цена» [1]:

$$J = \left[V_{\hat{e}\hat{e}} \frac{\sum_j V_{j,\hat{e}\hat{e}} x_{j,\hat{e}\hat{e}}}{\sum_j V_{j,\hat{e}\hat{e}}} + V_{\hat{i}\hat{e}} \frac{\sum_i V_{i,\hat{i}\hat{e}} x_{i,\hat{i}\hat{e}}}{\sum_i V_{i,\hat{i}\hat{e}}} + V_{\hat{e}\hat{a}\hat{a}\hat{i}\hat{d}} \frac{\sum_l V_{l,\hat{e}\hat{a}\hat{a}\hat{i}\hat{d}} \bar{x}_{l,\hat{e}\hat{a}\hat{a}\hat{i}\hat{d}}}{\sum_l V_{l,\hat{e}\hat{a}\hat{a}\hat{i}\hat{d}}} \right] \times$$

$$\times \frac{V_{\text{цены}} P}{V_{\text{кол}} + V_{\text{нал}} + V_{\text{кач}}} = J_{\text{кач}} \cdot J_{\text{цены}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{кол}}, V_{\text{нал}}, V_{\text{кач.пр.}}$ — групповые весовые коэффициенты, определяющие предпочтительность количественных признаков, признаков наличия и качественных признаков, соответственно. Множества $\{V_j, V_i, V_l\}$ определяют относительный вклад отдельных признаков (частных критериев).

В этом показателе выделим два сомножителя, первый из которых дает собственно оценку качества $J_{\text{кач}}$, а второй характеризует функцию цены

$$J_{\text{цены}} = V_{\text{цены}} P \quad (2)$$

и будет в дальнейшем обобщен как стоимостно-внедренческая функция.

Нетрудно убедиться в том, что введенная в (1) нормировка делением на сумму весовых коэффициентов обеспечивает достижение функционалом $J_{\text{кач}}$ значения единицы в том случае, когда все частные критерии будут равны единице. Это осуществляется с помощью нормировки

$$x_j = \frac{x_j}{x_{j, \text{баз}}}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (3)$$

где знаменатель — максимальное значение признака по всем K объектам

$$x_{j, \text{баз}} = \max_k x_j^{(k)}, \quad k = 1, 2, \dots, K. \quad (4)$$

Нормированные таким образом значения признаков $x_j \in [0, 1]$, $\forall j$. Соответственно, и значение функционала $J_{\text{кач}} \in [0, 1]$.

Нечетко-множественная мультипликативная модель комплексного показателя «качество — цена» согласно [1] имеет вид

$$J(\mu) = \left[V_{\text{кол}} \frac{\sum_j V_{j,\text{кол}} \mu_{A_j}(x_j) x_j}{\sum_j V_{j,\text{кол}}} + V_{\text{нал}} \frac{\sum_i V_{i,\text{нал}} x_i}{m_{\text{нал}} \sum_i V_{i,\text{нал}}} + V_{\text{кач}} \frac{\sum_l V_{l,\text{кач}} \mu_{A_l}(\bar{x}_l) \bar{x}_l}{\sum_l V_{l,\text{кач}}} \right]$$

$$\times \frac{\mu_P(P) P}{V_{\text{кол}} + V_{\text{нал}} + V_{\text{кач}}} = J_{\text{кач}}(\mu) J_{\text{цены}}(\mu), \quad (5)$$

где $\mu_A(x_j), \mu_A(x_i), \mu_A(\bar{x})$ — функции принадлежности множеств допустимых значений количественных признаков, признаков наличия и качественных признаков, соответственно; $m_{\text{нал}}$ — общее число признаков наличия. Нетрудно убедиться, что второе

слагаемое формулы (5) характеризует просто относительную величину наблюдения признаков наличия.

Введенная выше нормировка признаков (3) делением на максимальное значение по группе сравниваемых объектов имеет большое методическое значение. При этом все нормированные признаки изменяются в диапазоне $[0, 1]$, и для всех этих признаков может быть выбрана единая функция принадлежности. Для случая односторонней трапецеидальной функции ее форма задается характеристическим T -множеством $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$. Выберем в нашей задаче единую форму функции принадлежности с характеристическим множеством $T = \{0,2; 0,8; 1,0; 1,0\}$.

Многокритериальная экспертиза на основе матрицы парных сравнений.

В основе решения многокритериальных задач лежит ранжирование частных критериев (признаков). Значимость рангов частных критериев определяется на основе их попарного сравнения с помощью шкалы лингвистических оценок. В соответствии с методом анализа иерархий [3,4] лингвистическую шкалу построим состоящей из девяти градаций оценок относительной важности. Считается, что выбранный частный критерий: строго эквивалентен другому — 1; слабо предпочтительнее — 3; несколько предпочтительнее — 5; значительно предпочтительнее — 7; строго предпочтительнее — 9.

Пусть A — матрица парных сравнений, построенная на основе определенных экспертами значений элементов матрицы $a_{ij} = V_i/V_j$. Эти значения (ранги частных критериев), как правило, выбираются из представленной выше девятибалльной шкалы. Тогда должно выполняться соотношение $a_{ji} = 1/a_{ij}$, т.е. матрица A должна быть обратнo-симметрической.

Искомый вектор коэффициентов относительной важности (вектор приоритетов) имеет вид

$$V = (V_1, V_2, \dots, V_m). \quad (6)$$

В идеальном случае V является собственным вектором матрицы A и может быть найден как решение уравнения

$$AV = \lambda V, \quad (7)$$

где λ — собственное значение матрицы A .

Особую важность имеют матрицы, не только обладающие приведенными выше свойствами, но и являющиеся согласованными, что означает наличие важного соотношения согласованности

$$a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj}. \quad (8)$$

На практике в силу субъективности оценок экспертов это условие чаще всего не выполняется.

Информативным критерием достоверности определения рангов является индекс согласованности (ИС) матрицы парных сравнений A , который дает информацию о степени нарушения согласованности. Индекс согласованности для каждой матрицы рассчитывается на основе оценки максимальной величины собственного значения матрицы по формуле

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1}, \quad (9)$$

где m — размерность матрицы парных сравнений. Для обратнo-симметричной матрицы всегда $\lambda_{\max} \geq m$.

На основе индекса согласованности ИС рассчитывается показатель отношения согласованности $OC = IC/CC$, где CC — значение согласованности случайной матрицы того же порядка.

Средние значения согласованности CC для случайных матриц разного порядка $m = 1, 2, \dots, 10$, полученные при случайном выборе рангов из шкалы $1/9, 1/8, 1/7, \dots, 1, 2, \dots, 9$ и образовании обратно-симметричной матрицы, имеют следующий вид [3]:

0,00 0,00 0,58 0,90 1,12 1,24 1,32 1,41 1,45 1,49.

В работах [3,4] на основе обобщения опыта решения большого числа многокритериальных задач утверждается, что, для того, чтобы парные сравнения можно было считать согласованными, величина OC должна быть менее, чем 10%. Если OC выходит из этих пределов, то экспертам нужно пересмотреть задачу и проверить свои суждения.

В матрицах больших размеров, начиная с 7-9 элементов, трудно добиться согласованности. Это объясняется психологическими особенностями мышления экспертов — человеку трудно сопоставить между собой слишком большое количество объектов.

Разрабатываемая нами методика позволяет решить эту проблему делением всего множества частных критериев на подмножества количественных признаков, признаков наличия, качественных признаков. В каждой из этих групп собрано сравнительно небольшое число однородных признаков, что существенно облегчает построение соответствующих матриц парных сравнений.

Оценка показателей качества ERP-систем. Для отечественного рынка особое значение имеют стоимостно-внедренческие характеристики: стоимость лицензии, стоимость внедрения, среднее время внедрения, доступность программного обеспечения и т.д. При оценке отношения «качество — цена» бессмысленно сравнивать дорогие ERP-системы с простой и дешевой отечественной «1С: Бухгалтерией». Поэтому сравним между две системы одного класса: «Microsoft Dynamics NAV (Navision)» и отечественную систему «Галактика Business Suite», основываясь на данных, содержащихся в обзоре фирмы «Hansa World» [2] (см. табл.1, табл.2).

Для каждой из этих систем требуется выполнить следующие действия: 1) определить вклад признаков: количественных, наличия и качественных; 2) оценить групповые весовые коэффициенты; 3) ввести стоимостно-внедренческую характеристику — обобщенную функцию цены.

1. *Количественные признаки.* К таким признакам относятся: 1) максимальное количество пользователей; 2) количество известных внедрений; 3) доля на рынке ERP-систем (%).

Построим матрицу парных сравнений, выбрав следующие ранги критериев

	1	2	3
1	1	3	3
2	0,33	1	2
3	0,33	0,5	1

Максимальное собственное число равняется 3,047. Индекс согласованности (ИС) равен 0,023, отношение согласованности (OC) равно 0,040.

Нормированные весовые коэффициенты

$$V_{\text{кол}} = (0,549; 0,249; 0,157). \quad (10)$$

2. *Признаки наличия.* К таким признакам отнесем наиболее важные характеристики рассматриваемых систем — возможности анализа конкретных хозяйственных процессов. В упомянутом выше обзоре фирмы Hansa World [2] перечислены следующие функциональные возможности: 1) финансы; 2) учет основных средств; 3) расчеты с

подотчетными лицами; 4) управление персоналом и оплата труда; 5) закупки; 6) продажи; 7) склад; 8) производство; 9) бухгалтерская отчетность; 10) управление проектами.

Для системы Microsoft Dynamics NAV реализуется 7 таких признаков, а для системы «Галактика ERP» — 9. Считаем эти признаки равнозначными, поэтому для оценки признаков наличия матрица парных сравнений не используется.

3. *Качественные признаки.* К таким признакам относятся признаки 5—11 (табл.1), среди которых наиболее важными представляются: доступность программного обеспечения и страна разработчика. Построим матрицу парных сравнений, выбрав следующие ранги критериев:

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	3	7	3	5	3
2	1	1	5	5	3	5	3
3	0,33	0,2	1	3	1	3	1
4	0,14	0,2	0,33	1	0,33	0,5	0,33
5	0,33	0,2	1	3	1	0,5	1
6	0,2	0,2	0,5	1	2	1	0,5
7	0,33	0,33	1	3	1	2	1

Максимальное собственное число равняется 7,119. Индекс согласованности (ИС) равен 0,002, отношение согласованности (ОС) равно 0,015.

Нормированные весовые коэффициенты

$$V_{\text{кач.пр.}} = (0,299; 0,307; 0,104; 0,038; 0,081; 0,064; 0,106)^T. \quad (11)$$

4. *Групповые весовые коэффициенты* $V_{\text{кол}}, V_{\text{нал}}, V_{\text{кач.пр.}}$. Построим матрицу парных сравнений, изменив порядок их рассмотрения с учетом того, что для данной задачи наиболее важными являются признаки наличия (функциональные возможности) на следующий порядок $V_{\text{нал}}, V_{\text{кол}}, V_{\text{кач.пр.}}$. Выберем следующие ранги критериев:

	1	2	3
1	1	5	3
2	0,2	1	0,33
3	0,33	3	1

Максимальное собственное число равняется 3,038. Индекс согласованности (ИС) равен 0,016, отношение согласованности (ОС) равно 0,028.

Окончательно, групповые весовые коэффициенты

$$V_{\text{кол}} = 0,103; V_{\text{нал}} = 0,605; V_{\text{кач}} = 0,291. \quad (12)$$

В табл.1 представлены значения признаков X_i , нормированных признаков X_i , произведений функций принадлежности и нормированных признаков $\mu_A X_i$ при трапециевидальном задании $T = \{0,2; 0,8; 1,0; 1,0\}$ функций принадлежности. Взвешенные суммы признаков и обобщенный показатель качества рассчитаны с учетом найденных весовых коэффициентов (10)—(12).

Таблица 1

Характеристики сравниваемых ERP-систем

Признаки		Microsoft Dynamics NAV			Галактика ERP		
№	Наименование признаков	X_i	X_i	$\mu_A X_i$	X_i	X_i	$\mu_A X_i$
1	Количество пользователей	До 250	0,758	0,706	До 330	1,000	1,000
2	Количество внедрений	55 000	1,0	1,000	>6000	0,109	0,000
3	Доля на рынке ERP-систем, %	7	1,0	1,000	5	0,714	0,613
	Взвешенная сумма количественных признаков		0,861	0,831		0,721	0,642
4	Функциональные возможности (наличие)	7	0,7	0,584	9	0,900	0,900
	Взвешенная сумма признаков наличия		0,7	0,584		0,900	0,900
5	Доступность программного обеспечения	Труднодоступное	0,4	0,134	Легкодоступное	1,0	1,000
6	Разработчик	Microsoft (США)	1,0	1,000	Галактика (Россия)	0,6	0,401
7	Локализация	Для каждой страны	1,0	1,000	Русский	0,8	0,800
8	Требования к системе	Windows СУБД: SQL, Oracle	1,0	1,000	Windows СУБД: SQL, Oracle	1,0	1,000
9	Возможность удаленного использования	Дополнительный WEB-интерфейс	1,0	1,000	Терминальный доступ, обмен данными	0,6	0,401
10	Гибкость	Программирование	1,0	1,000	Параметризация	0,6	0,401
11	Электронная почта (e-mail)	Есть	1,0	1,000	Нет	0,4	0,134
	Взвешенная сумма качественных признаков		0,82	0,74		0,734	0,673
	Обобщенный показатель качества	—	Детерминированный 0,747	Нечётко-множественный 0,649	—	Детерминированный 0,838	Нечётко-множественный 0,814

Стоимостно-внедренческая функция. Обобщим функцию цены $J_{\text{цены}}$ комплексного показателя «качество — цена» (1) на основе введения еще одной группы признаков — признаков отрицательного эффекта (ПОЭ). Для данной задачи ПОЭ — стоимость лицензии $P_{\text{лиц}}$, стоимость внедрения $P_{\text{внед}}$, длительность срока внедрения (мес.) $T_{\text{внед}}$.

Вместо использованной ранее нормировки признаков (3), (4) введем «обратную» нормировку

$$x_{\text{ёёё}}^{(k)} = \frac{\overset{\circ}{P}_{\text{ёёё}}}{P_{\text{ёёё}}(k)}; \quad x_{\text{аааа}}^{(k)} = \frac{\overset{\circ}{P}_{\text{аааа}}}{P_{\text{аааа}}(k)}; \quad x_{\text{аааа}}^{(k)} = \frac{\overset{\circ}{T}_{\text{аааа}}}{T_{\text{аааа}}(k)}. \quad (13)$$

где верхним символом « \circ » обозначены максимальные значения по группе сравниваемых объектов ($k = 1, 2$):

$$\overset{\circ}{P}_{\text{лиц}} = \max_k P_{\text{лиц}}(k); \quad \overset{\circ}{P}_{\text{внед}} = \max_k P_{\text{внед}}(k); \quad \overset{\circ}{T}_{\text{внед}} = \max_k T_{\text{внед}}(k).$$

При такой нормировке, как и ранее, нормированные признаки принимают значения из отрезка $[0, 1]$, а для нечетко-множественного показателя может использоваться функция принадлежности трапецидальной формы с множеством характеристических чисел $T = \{0, 2; 0, 8; 1, 0; 1, 0\}$.

Обобщенная функция цены с учетом стоимостно-внедренческих характеристик примет вид

$$J_{\text{цены}} = \frac{V_{\text{лиц}} X_{\text{лиц}} + V_{\text{внед}} X_{\text{внед}} + V_{\text{срок}} X_{\text{срок}}}{V_{\text{лиц}} + V_{\text{внед}} + V_{\text{срок}}}, \quad (14)$$

где весовые коэффициенты $V_{\text{лиц}}, V_{\text{внед}}, V_{\text{срок}}$ определяются на основе матрицы парных сравнений

	1	2	3
1	1	5	5
2	0,2	1	2
3	0,2	0,5	1

Максимальное собственное число равняется 3,054. Индекс согласованности (ИС) равен 0,027, отношение согласованности (ОС) равно 0,047.

Окончательно, стоимостно-внедренческие весовые коэффициенты

$$V_{\text{ст-внед}} = \{V_{\text{лиц}}, V_{\text{внед}}, V_{\text{срок}}\} = \{0,709; 0,179; 0,112\}. \quad (15)$$

Значения нормированных признаков, обобщенная функция цены с учетом стоимостно-внедренческих показателей и комплексные показатели «качество — обобщенная цена» приведены в табл.2.

Таблица 2

Стоимостно-внедренческие признаки ERP-систем

Признаки		Microsoft Dynamics NAV			Галактика ERP		
№	Наименование	X_i	X_i	$\mu_A X_i$	X_i	X_i	$\mu_A X_i$
1	Стоимость лицензий за рабочее место, Евро	1500	0,333	0,073	500	1,0	1,0
2	Стоимость внедрения (от стоимости лицензий)	>100%	0,5	0,251	>50%	1,0	1,0

3	Срок внедрения (месяц)	4	1,0	1,000	8	0,5	0,251
Обобщенная функция цены		—	0,438	0,209	—	0,944	0,916
Комплексные показатели $J, J^{(\mu)}$		—	$J =$ 0,327	$J^{(\mu)} =$ 0,136	—	$J =$ 0,791	$J^{(\mu)} =$ 0,745

Как видно из табл. 2, по величине обобщенных показателей «качество — обобщенная цена» $J, J^{(\mu)}$ система «Галактика ERP» значительно превосходит зарубежный вариант «Microsoft Dynamics NAV» того же класса, что объясняется лучшими стоимостно-внедренческими характеристиками. Кроме того, можно сделать вывод о том, что нечетко-множественный показатель (5) оказывается значительно более чувствительным к различию характеристик сравниваемых объектов, чем детерминированный показатель (1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарин С.В., Мельников А.В. Нечеткие множества качественных признаков объектов экспертизы // Вестник Воронежского института МВД России. — 2011. — № 1. — С. 142—149.
2. Обзор и сравнение основных ERP-решений на российском рынке: Review of Hansa World [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://hansa.dm.ru/pages/compare2> (дата обращения 14.04.2011).
3. Саати Т. Принятие решений: метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.
4. Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. — М.: Машиностроение – 1, 2004. — 397 с.