

**Мельников****Александр Владимирович,**старший преподаватель кафедры
автоматизированных информационных систем
ОВД Воронежского института МВД России, д.т.н.,
подполковник полиции

При технико-экономической экспертизе информационных систем должен быть учтен целый ряд его признаков (характеристик, показателей, свойств). Большинство признаков носят *количественный* характер. Другие признаки (*качественные*) не могут быть выражены количественно и носят оценочный характер: страна создания, торговая марка, удобство эксплуатации, интерфейс и т.д. Количественные признаки определяются либо документально из прайс-листов, технических описаний, инструкций, либо путем измерений – инструментальным методом. Поэтому они носят объективный характер и принимаются к учету по факту, без предварительной оценки экспертами. Качественные признаки носят расплывчатый, оценочный характер и требуют тщательной оценки экспертами. Однако и для тех, и для других групп признаков должен быть разработан адекватный механизм включения в обобщающий показатель качества объекта экспертизы.

Процесс экспертизы информационных систем является достаточно сложным и состоит из нескольких этапов: подбор группы экспертов, выбор шкалы оценивания, выделение значимых признаков исследуемого класса объектов (изделий), разработка плана экспертного эксперимента, получение

Технико-экономическая экспертиза информационных систем методом анализа иерархий разделяющихся признаков

экспертных оценок, их статистическая обработка, формирование заключения экспертизы и т.д. Поскольку эти этапы достаточно четко идентифицируются, определены условия начала каждого этапа и охарактеризованы требования к его завершению и вид предоставляемой информации, в настоящее время уже можно говорить о необходимости создания технологии экспертизы [1].

Подбор группы экспертов является очень ответственным этапом технологии экспертизы, обеспечивающим получение надежных оценок характеристик исследуемых объектов. На сегодняшний день не существует регулярных методов подбора экспертов, наверняка обеспечивающих успех экспертизы. Отметим лишь эвристический метод «снежного кома» [2], при котором от каждого специалиста, привлекаемого в качестве эксперта, получают фамилии тех, кто может быть экспертом по рассматриваемой тематике. Процесс расширения списка останавливается, когда новые фамилии перестают встречаться.

Существует опасность вовлечения в группу экспертов специалиста, обладающего «экспертной властью». Это может быть руководитель организации, либо другое авторитетное лицо. В этом случае экспертные оценки могут оказаться статистически смещенными. Обычный путь обеспечения равного влияния на рейтинг экспертизы состоит во введении весовых коэффициентов V_i , $i = 1, 2, \dots, n$ для оценок каждого из экспертов. Кроме того, может оказаться, что в состав экспертной группы попадут как «добрые» эксперты (дающие завышенные оценки по всем признакам, так и «злые» (занижающие оценки). Тогда, чтобы обеспечить объективность оценок, следует вводить нормировку: каждую из оценок x_i данного эксперта следует разделить на поправочный коэффициент, учитывающий отклонение от среднего уровня оценок экспертной группы.

Особое место занимает *стоимостная характеристика*. Для простых объектов экспертизы это может быть просто функция цены P . В качестве такой функции может быть выбрана, в принципе, любая функция $f(P)$, убывающая с ростом цены. Однако для сложных объектов экспертизы требуется учитывать не только цену приобретения, но и ряд других признаков (стоимость лицензии, стоимость внедрения, срок внедрения, время и стоимость самой экспертизы и т.д.). Таким образом, всегда речь идет не только об оценке качества сравниваемых объектов, но о комплексной *технико-экономической экспертизе*.

Для получения заключения экспертизы требуется определение значения комплексного показателя качество-цена J для каждого из сравниваемых объектов экспертизы. В работе [1] предложена мультипликативная модель показателя качество-цена (1):

$$J = \left[\hat{V}_{кол} \frac{\sum_j V_{j,кол} \hat{x}_j}{\sum_j V_{j,кол}} + \hat{V}_{нал} \frac{\sum_i V_{i,нал} \hat{x}_i}{\sum_i V_{i,нал}} + \hat{V}_{кач} \frac{\sum_l V_{l,кач} \bar{x}_l}{\sum_l V_{l,кач}} \right] \times \left[\frac{\hat{V}_{цены} \hat{P}}{\hat{V}_{кол} + \hat{V}_{нал} + \hat{V}_{кач}} \right], \quad (1)$$

полно отражающую свойства объекта экспертизы с экономической точки зрения.

Выбор групповых весовых коэффициентов $V_{кол}$, $V_{нал}$, $V_{кач}$ позволяет установить требуемое соотношение между вкладами оценок количе-



ственных, качественных признаков и признаков наличия в комплексный показатель J . Знаменатель последнего множителя формулы (1) позволяет нормировать значение J таким образом, чтобы при достижении всеми признаками максимальных значений показатель J превращался в единицу.

Показатель (1) позволяет учитывать качественные признаки объекта экспертизы (признаки наличия, признаки положительного эффекта, признаки психофизиологической природы) наряду с количественными признаками в сравнении с функцией цены. Показатель обладают значительной гибкостью учета соотношений между группами признаков и парциальными признаками за счет введения соответствующих множеств весовых коэффициентов.

Для определения весовых коэффициентов V предлагается использование метода анализа иерархий Т. Саати (МАИ) [3]. Эксперты с психологической точки зрения способны эффективно различать не более 5-6 признаков. Однако реальные объекты экспертизы могут содержать 10-30 (и больше) признаков, и попытка их сравнительной оценки приводит к потере объективности экспертизы. С вычислительной точки зрения составление матрицы парных сравнений столь большой размерности приводит к проблеме обеспечения ее согласованности, а в результате – к значительным вычислительным погрешностям.

В исследовании [1] предложена модификация метода анализа иерархий с целью преодоления упомянутых выше вычислительных проблем и повышения объективности экспертизы – метод анализа иерархий разделяющихся признаков (МАИ РП).

На первом этапе МАИ РП формируется в блочно-диагональной форме матрица парных сравнений, в которой по главной диагонали расположены блоки частных матриц сравнения, соответствующие выделенным кластерам признаков:

$$W = \begin{bmatrix} A_{\text{кол}} & O & O & O & O & O \\ O & A_{\text{нал}} & O & O & O & O \\ O & O & A_{\text{пэф}} & O & O & O \\ O & O & O & A_{\text{пфи}} & O & O \\ O & O & O & O & A_{\text{групп}} & O \\ O & O & O & O & O & A_{\text{ото}} \end{bmatrix} \cdot \quad (2)$$

Блоки, обозначенные O , являются матрицами из нулевых элементов соответствующей размерности.

Вторым этапом алгоритма МАИ РП является определение вектора собственных значений, который для блочно-диагональной матрицы парных сравнений W примет блочно-последовательный вид:

$$\Lambda_A = [\Lambda_{\text{кол}} \quad \Lambda_{\text{нал}} \quad \Lambda_{\text{пэф}} \quad \Lambda_{\text{пфи}} \quad \Lambda_{\text{групп}} \quad \Lambda_{\text{отр}}]^T \quad (3)$$

В каждой из клеток размерности $(m_s \times 1)$, $s=1-6$ содержатся векторы собственных значений для каждого вида признаков. Максимальное собственное значение $\lambda_{\text{max}}^{(s)}$ определяет степень согласованности каждой из частных матриц парных сравнений.

Третьим этапом алгоритма является определение собственных векторов расширенной матрицы W . Совокупность векторов также образует блочно-диагональную матрицу. Первый собственный вектор в каж-

Таблица 1

Характеристики сравниваемых ERP-систем

№	Признаки Наименование	SAP Business One		Галактика ERP	
		x_i	\hat{x}_i	x_i	\hat{x}_i
1	Количество пользователей	до 1000	1,0	до 330	0,33
2	Количество внедрений	> 12500	1,0	> 6000	0,48
3	Доля на рынке ERP-систем, %	9,8%	1,0	5%	0,51
Взвешенная сумма количественных признаков		1,0		0,396	
4	Количество учитываемых хозяйственных процессов	7	0,78	9	1,0
Взвешенная сумма признаков наличия		0,78		1,0	
5	Доступность программного обеспечения	трудно доступное	0,4	легко доступное	1,0
6	Разработчик	Германия	1,0	Россия	0,8
7	Локализация	дополн. услуги	0,6	русский	1,0
8	Требования к системе	Windows; SQL, Oracle	1,0	Windows; SQL, Oracle	1,0
9	Возможность удаленного использования	WEB-интерфейс	1,0	обмен данными	0,6
10	Гибкость	программирование	1,0	параметризация	0,4
11	Электронная почта (e-mail)	есть	1,0	нет	0,6
Взвешенная сумма качественных признаков		0,783		0,822	

дой из клеток определяет вектор приоритетов весовых коэффициентов для различных кластеров признаков.

Четвертый этап заключается в определении признаков x_i сравниваемых объектов экспертизы и определении нормированных значений признаков \hat{x}_i .

На заключительном, пятом этапе на основе найденных значений нормированных признаков $\hat{x}_i^{(l)}$, $l=1,2,\dots,k$ и определенного множества весовых коэффициентов V осуществляется вычисление показателя качества $J_{\text{цены}}^{(l)}$ и обобщенной функции цены $J_{\text{кач}}^{(l)}$ каждого l -го объекта. Итоговым результатом является расчет комплексного показателя качества $J^{(l)}$, $l=1,2,\dots,k$ для всех сравниваемых объектов экспертизы.

В качестве примера анализа иерархий разделяющихся признаков рассмотрим технико-экономическую экспертизу систем планирования финансовых ресурсов (ERP-систем). При оценке отношения «качество-цена» бессмысленно сравнивать дорогие ERP-системы с дешевой отечественной «1С: Бухгалтерией». Поэтому сравним две системы одного класса: «SAP Business One» (Германия) и отечественную систему «Галактика Business Suite», основываясь на данных, содержащихся в обзоре фирмы «Hansa World» [4].

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

Основываясь на данных упомянутого выше обзора, выберем основные признаки сравниваемых систем (табл. 1).

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

2. Признаки наличия. К таким признакам отнесем наиболее важные характеристики рассматриваемых систем — возможности анализа конкретных хозяйственных процессов. В обзоре фирмы Hansa World перечислены следующие функциональные возмож-



ности: 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 «SAP Business One» реализуется 7 таких признаков, а 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 (см. табл. 1), среди которых наиболее важными представляются: доступность программного обеспечения и страна разработчика.

Применяя предложенный выше метод анализа иерархий с разделением признаков (МАИ РП) построим обобщенную матрицу парных сравнений A для количественных и качественных признаков:

$$W = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,33 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,33 & 0,5 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 3 & 7 & 3 & 5 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 3 & 7 & 3 & 5 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0,33 & 0,2 & 1 & 3 & 1 & 3 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0,14 & 0,2 & 0,33 & 1 & 0,33 & 0,5 & 0,33 \\ 0 & 0 & 0 & 0,33 & 0,2 & 1 & 3 & 1 & 0,5 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0,2 & 0,2 & 0,5 & 1 & 2 & 1 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0,33 & 0,33 & 1 & 3 & 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Полученная матрица имеет блочно-диагональный (клеточно-диагональный) вид. Верхняя клетка размерности 3×3 соответствует парному сравнению количественных признаков. Ее первая строка содержит ранги предпочтения первого признака (максимальное количество пользователей) над 2,3 признаком (см. табл. 1). Нижняя клетка размерности 7×7 соответствует парному сравнению качественных признаков. Ее верхняя строка содержит ранги предпочтений равнозначных 5, 6 признаков над остальными 7–11 признаками.

Для верхней клетки матрицы W (размерности 3×3) максимальное собственное число равняется 3,047. Индекс согласованности (ИС) равен 0,023, отношение согласованности (ОС) равно 0,040. Для нижней клетки матрицы W (размерности 7×7) максимальное собственное число равняется 7,202. Индекс согласованности (ИС) равен 0,002, отношение согласованности (ОС) равно 0,015. В результате получим блочно-диагональную матрицу собственных векторов, в верхней клетке которой расположены собственные векторы для количественных признаков, а в нижней — для качественных признаков.

Для количественных признаков первый собственный вектор

$$V_{\text{кол}} = (0,896 \ 0,375 \ 0,236), \sum V_{i,\text{кол}} = 1,507,$$

а после нормировки делением на сумму признаков вектор приоритетов количественных признаков

$$\tilde{V}_{\text{кол}} = (0,595 \ 0,249 \ 0,157). \quad (5)$$

Для качественных признаков первый собственный вектор

$$V_{\text{кач.пр}} = (0,626 \ 0,667 \ 0,231 \ 0,081 \ 0,179 \ 0,149 \ 0,222),$$

а после нормировки делением на сумму весовых коэффициентов 2,155 получим вектор приоритетов количественных признаков

$$\tilde{V}_{\text{кач.пр}} = (0,290 \ 0,310 \ 0,107 \ 0,038 \ 0,083 \ 0,069 \ 0,103). \quad (6)$$

С учетом рассчитанных векторов приоритетов (5), (6) рассчитаны и сведены в (табл. 1) взвешенные суммы количественных и качественных признаков. Взвешенные суммы признаков наличия (учитываемых хозяйственных процессов) определяются относительным числом учитываемых процессов $m_{\text{нал}}$.

Используя предложенный выше метод МАИ РП, составим расширенную блочно-диагональную матрицу групповых и стоимостно-внедренческих признаков:

$$W_{\text{зс}} = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0,2 & 1 & 0,5 & 0 & 0 & 0 \\ 0,33 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 & 5 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0,2 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0,2 & 0,5 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Верхняя левая клетка матрицы $W_{\text{зс}}$ соответствует групповым коэффициентам $\tilde{V}_{\text{кол}}$, $\tilde{V}_{\text{нал}}$, $\tilde{V}_{\text{кач}}$. При построении матрицы парных сравнений мы изменили порядок их рассмотрения с учетом того, что для данной задачи наиболее важными являются признаки наличия (функциональные возможности), на следующий порядок $\tilde{V}_{\text{кол}}$, $\tilde{V}_{\text{нал}}$, $\tilde{V}_{\text{кач}}$. Нижняя правая клетка матрицы $W_{\text{зс}}$ соответствует стоимостно-внедренческим признакам отрицательного эффекта. К таким признакам относятся: стоимость лицензии $P_{\text{лиц}}$, стоимость внедрения $P_{\text{внед}}$, длительность срока внедрения (мес.) $T_{\text{внед}}$.

Вместо использованной ранее нормировки признаков положительного эффекта введем «обратную» нормировку

$$\hat{x}_{\text{лиц}}^{(k)} = \frac{P_{\text{лиц}}^{\circ}}{P_{\text{лиц}}^{(k)}}; \quad \hat{x}_{\text{внед}}^{(k)} = \frac{P_{\text{внед}}^{\circ}}{P_{\text{внед}}^{(k)}}; \quad \hat{x}_{\text{срок}}^{(k)} = \frac{T_{\text{внед}}^{\circ}}{T_{\text{внед}}^{(k)}}. \quad (8)$$

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

$$P_{\text{лиц}}^{\circ} = \min_k P_{\text{лиц}}^{(k)}; \quad P_{\text{внед}}^{\circ} = \min_k P_{\text{внед}}^{(k)}; \quad T_{\text{внед}}^{\circ} = \min_k T_{\text{внед}}^{(k)}.$$

При такой нормировке, как и ранее, нормированные признаки принимают значения из отрезка $[0, 1]$.

Обобщенная функция цены с учетом стоимостно-внедренческих характеристик примет вид

$$J_{\text{цены}} = \frac{V_{\text{лиц}} \hat{x}_{\text{лиц}} + V_{\text{внед}} \hat{x}_{\text{внед}} + V_{\text{срок}} \hat{x}_{\text{срок}}}{V_{\text{лиц}} + V_{\text{внед}} + V_{\text{срок}}}, \quad (9)$$

где весовые коэффициенты $V_{\text{лиц}}$, $V_{\text{внед}}$, $V_{\text{срок}}$ определяются на основе нижней правой клетки расширенной матрицы парных сравнений $W_{\text{зс}}$.



Для верхней клетки матрицы W_{zc} (размерности 3×3) максимальное собственное число равняется 3,001. Индекс согласованности (ИС) равен 0,0002, отношение согласованности (ОС) равно 0,0003. Для нижней клетки матрицы W_{zc} (размерности 3×3) максимальное собственное число равняется 3,054. Индекс согласованности (ИС) равен 0,009, отношение согласованности (ОС) равно 0,016. Итак, расширенная матрица V является хорошо согласованной.

Получим блочно-диагональную матрицу собственных векторов, в верхней клетке которой расположены собственные векторы для групповых признаков, а в нижней — для стоимостно-внедренческих признаков. Для групповых признаков первый собственный вектор

$$\begin{aligned} V_{групп} &= (0,928 \ 0,175 \ 0,328 \ 0,000 \ 0,000 \ 0,000), \\ \sum V_{i,групп} &= 1,431, \end{aligned}$$

а после нормировки делением на эту сумму признаков-вектор приоритетов групповых признаков

$$\tilde{V}'_{групп} = (0,648 \ 0,174 \ 0,109 \ 0,000 \ 0,000 \ 0,000).$$

После перестановки коэффициентов в порядке: количественные, наличия и качественные признаки, получим окончательно

$$\tilde{V}_{групп} = (0,109 \ 0,648 \ 0,174). \quad (10)$$

Подставив полученные групповые весовые коэффициенты (9) и нормированные признаки \hat{x}_i (см. табл. 1) в формулу (1), получим значения показателя качества $J_{кач}$ для сравниваемых систем:

$$J_{кач}^{SAP} = 0,751; J_{кач}^{Галактика} = 0,834. \quad (11)$$

Для стоимостно-внедренческих признаков первый собственный вектор

$$V_{ст-вн} = (0,000 \ 0,000 \ 0,000 \ 0,958 \ 0,242 \ 0,152),$$

а после нормировки делением на сумму весовых коэффициентов 1,352 получим расширенный вектор приоритетов стоимостно-внедренческих признаков

$$\tilde{V}'_{ст-вн} = (0,000 \ 0,000 \ 0,000 \ 0,708 \ 0,178 \ 0,112),$$

откуда вектор приоритетов

$$\tilde{V}_{ст-вн} = (0,708 \ 0,178 \ 0,112). \quad (12)$$

Нормировка признаков осуществляется согласно формуле (8), а нормированные значения 12-14 признаков \hat{x}_i сведены в табл. 2.

Таблица 2

Стоимостно-внедренческие признаки

ERP-системы:		SAP Business One		Галактика ERP	
Стоимостно-внедренческие признаки					
№	Наименование	x_i	\hat{x}_i	x_i	\hat{x}_i
12	Стоимость лицензий за рабочее место, Евро	1500	0,333	500	1,0
13	Стоимость внедрения (от стоимости лицензий)	>100%	0,5	>50%	1,0
14	Срок внедрения (месяц)	4	1,0	8	0,5

С учетом нормированных значений признаков \hat{x}_i и вектора приоритетов (12) обобщенная функция цены для сравниваемых систем примет следующие значения:

$$J_{цены}^{SAP} = 0,435; J_{цены}^{Галактика} = 0,942. \quad (13)$$

Комплексный показатель качество-цена $J = J_{кач} J_{цены}$ с учетом рассчитанных величин (10), (12) для сравниваемых систем

$$J = 0,326; J = 0,785. \quad (14)$$

Значения собственно показателя качества $J_{кач}$ для двух систем примерно одинаковы (0,751, 0,834), однако отечественная «Галактика ERP» имеет значительно лучшие стоимостно-внедренческие характеристики. За счет этого комплексный показатель качество-цена отечественной системы оказался практически в два раза выше.

Таким образом, при проведении комплексной технико-экономической экспертизы информационных систем предлагается использовать МАИ РП. В отличие от традиционного МАИ матрица парных сравнений заменяется на блочно-диагональную матрицу, в каждом из блоков которой уверенно достигается согласованность. Рассмотрены основные этапы алгоритма и, в качестве примера, осуществлена экспертиза двух современных ERP-систем.

Список используемых источников

- Бухарин С.В. Кластерно-иерархические методы экспертизы экономических объектов: монография. / С.В. Бухарин, А.В. Мельников. — Воронеж: Научная книга, 2012. — 276 с.
- Навоев, В.В. Экспертно-статистический метод оценки характеристик информационно-измерительных систем / В.В. Навоев. — Диссертация соиск. ... канд. техн. наук.: специальность 05.13.18. — Воронеж: Воронежский институт МВД РФ, 2003. — 164 с.
- Саати Т. Принятие решений: Метод анализа иерархий: Пер. с англ. / Т.Саати. — М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.
- Бухарин, С.В. Многокритериальная экспертиза ERP-систем с учетом стоимостно-внедренческих характеристик / С.В. Бухарин, А.В. Мельников // Вестник Воронежского института МВД России. — 2011. — № 3. — С. 135-143.