

Подход к оценке эффективности внедрения информационных систем предприятий

© С.А. Сакулин, А.А. Максаков

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Рассмотрены вопросы оценки эффективности внедрения информационных систем на предприятиях. Предложен расширенный подход к оценке эффективности внедрения, базирующийся на агрегировании показателей эффективности внедрения. Для некоторых показателей введены пороговые значения, которых они должны достигнуть по завершении внедрения, чтобы оно считалось успешным. Рассмотрены вопросы нормализации показателей эффективности внедрения информационных систем. Предложен обобщенный показатель эффективности внедрения информационных систем на основе интеграла Шоке. Рассмотрена ситуация зависимости показателей, отмечено, что учет зависимостей позволяет строить более точные модели оценки эффективности внедрения.

Ключевые слова: информационная система, эффективность внедрения, оператор агрегирования, нечеткая мера, интеграл Шоке, показатель эффективности.

Введение. Внедрение информационной системы (ИС) на предприятии представляет собой ввод этой ИС в промышленную эксплуатацию. В процессе внедрения ИС необходимо как можно быстрее и с наименьшими затратами ресурсов развернуть ее на предприятии и ввести в эксплуатацию в полном объеме. При этом эффективность обработки информации, как минимум, не должна снизиться по сравнению с эффективностью обработки до внедрения ИС.

Однако менее пятой части внедряемых ИС вводятся в срок и укладываются в запланированный бюджет. В основном ИС вводятся в эксплуатацию с почти двойным превышением сроков и бюджета [1–3].

Подобная ситуация объясняется тем, что в рамках реализации жизненного цикла ИС недостаточное внимание уделяется этапу внедрения, что в 90 % случаев является причиной фиаско проектов [4]. Адекватная оценка эффективности внедрения позволит делать выводы о необходимости принятия тех или иных мер, направленных на обеспечение успеха внедрения ИС на предприятии.

Показатели эффективности внедрения. Эти показатели отражают действенность проведенных изменений в работе предприятия и его сотрудников в связи с внедрением новой ИС. По выбранным на начальном этапе внедрения ИС показателям проводится оценка эффективности внедрения на промежуточных и завершающем этапах. Пусть g_1, \dots, g_H – показатели эффективности внедрения, где H – число показателей эффективности. Примером таких показателей могут быть: g_1 – увеличение интенсивности ввода и отправки в банк

платежных поручений; g_2 – сокращение складских запасов продукции; g_3 – увеличение скорости оформления документов на отгрузку продукции предприятия. В общем случае набор показателей зависит от поставленных целей внедрения, каждый показатель эффективности отражает степень достижения той или иной цели.

Показатели эффективности внедрения ИС подразделяются на следующие виды: экономические, технологические, управленческие. С помощью экономических показателей оценивается экономическая эффективность внедрения. Технологические показатели отражают эффективность обработки информации, например время отклика системы на запрос, оперативность и актуальность данных. Управленческие показатели позволяют оценить эффективность управления предприятием за счет внедрения ИС, в частности возможность получения с помощью ИС необходимой для принятия решения информации (ее оперативность, объем, актуальность, достоверность, репрезентативность). Подробное описание показателей эффективности рассмотрено, например, в работах [5, 6].

Количественные показатели описываются числовыми характеристиками, а качественные – лингвистическими переменными и функциями принадлежности соответствующих нечетких множеств. Попытки оценить качественные показатели количественно неудачны, поскольку при этом происходит подмена понятий [7].

Каждому показателю эффективности g_1, \dots, g_H ставится в соответствие его требуемое значение, т. е. значение, которого он должен достигнуть после завершения внедрения: e_1, \dots, e_H . Например, e_1 – увеличение в 2 раза скорости ввода и отправки в банк платежных поручений, e_2 – сокращение складских запасов на 20 %. Для каждого показателя эффективности задается также степень значимости в виде весовых коэффициентов w_1, \dots, w_H , где $w_h \in [0, 1]$, $h = 1, \dots, H$, $\sum_{h=1}^H w_h = 1$.

Некоторые из показателей эффективности должны достигнуть соответствующих пороговых значений, иначе внедрение не будет считаться успешным. При достижении показателями этих значений в процессе внедрения происходит событие, связанное с переходом предприятия в состояние, в котором оно способно с помощью новой ИС выполнять определенную функцию. В соответствии с этими рассуждениями вводятся пороговые значения показателей эффективности: g_1^p, \dots, g_H^p .

Агрегирование показателей эффективности внедрения. Обобщенный показатель эффективности внедрения получают на основе агрегирования локальных показателей. Оператор агрегирования

представляет собой обладающую некоторыми заданными свойствами функцию от H переменных (показателей), каждая из которых определена на единичном интервале. Областью значений этой функции также является единичный интервал. В соответствии с этим показатели эффективности внедрения необходимо нормализовать, а именно – свести их области определения к единичному отрезку. Очевидно, что это всегда можно сделать с помощью простых линейных преобразований исходных шкал показателей. Причем те шкалы, для которых наилучшим значением с точки зрения эффективности является минимальное (например, шкала показателя складских запасов), необходимо подвергнуть инверсии таким образом, чтобы требуемому значению e_i показателя g_i на исходной шкале соответствовала единица на нормализованной шкале.

Обычно в качестве оператора агрегирования показателей применяют средневзвешенный оператор: $Agg(g_1, \dots, g_H) = \sum_{h=1}^H w_h g_h$. Досто-

инствами этого оператора являются простота и хорошая интерпретируемость, а недостаток состоит в том, что с его помощью не удастся формализовать знания эксперта о зависимостях между агрегируемыми показателями. Рассмотрим пример подобной зависимости. Обозначим $A = \{g^1, g^2, g^3, g^4\}$ – множество доступных реализаций (под реализацией понимается совокупность значений показателей). Это множество можно составить из реализаций, соответствующих такой эффективности внедрения, о которой эксперт может судить исходя из своего опыта и сведений о бизнес-процессе, т. е. задать значения обобщенного показателя для этих реализаций. По аналогии со статистическим обучением множество A может рассматриваться как обучающая выборка. Это множество обычно включает не более 20 элементов из-за высокой трудоемкости выражения предпочтений эксперта [8].

Предположим, что эксперта просят упорядочить множество A в соответствии с его представлениями о том, какая из реализаций показателей соответствует большей эффективности внедрения ИС. Предположим также, что показатели g_1, g_2, g_3 для четырех реализаций принимают значения, приведенные в таблице.

Реализация	Показатель		
	g_1	g_2	g_3
g^1	0,81	0,9	0,75
g^2	0,75	0,9	0,81
g^3	0,81	0,5	0,75
g^4	0,75	0,5	0,81

Очевидно, что эксперт прежде всего сформулирует предпочтения $g^1 \succ_A g^3$ и $g^2 \succ_A g^4$, где \succ_A обозначено отношение предпочтения на множестве A . После этого эксперт осознает, что другие сравнения не так очевидны, так как соответствующие оценки эффективности «переплетены». Увеличение скорости оформления документов на отгрузку продукции (g_3) и сокращение складских запасов (g_2) в некотором роде взаимозаменяемы и положительно коррелированы. Предположим, что эксперт рассуждает следующим образом: когда достигнут хороший результат в сокращении складских запасов (g_2), ускорение отправки в банк платежных поручений (g_1) предпочтительнее, чем ускорение оформления документов на отгрузку продукции (g_3), поэтому $g^1 \succ_A g^2$. Однако если в сокращении складских запасов (g_2) хороший результат не достигнут, более важно достижение хорошего результата в ускорении оформления документов на отгрузку продукции (g_3), чем в ускорении отправки в банк платежных поручений (g_1), поэтому $g^4 \succ_A g^3$. В итоге эти качественные рассуждения эксперта ведут к следующему порядку на множестве A :

$$g^1 \succ_A g^2 \succ_A g^4 \succ_A g^3. \quad (1)$$

Кроме того, в соответствии с логикой бизнес-процесса предприятия показатели g_1 и g_2 более важны, чем g_3 . Формализовать это наблюдение можно в виде нестрогого порядка на множестве индексов показателей $J = \{1, \dots, H\}$:

$$g_1 \sim_J g_2 \succ g_3. \quad (2)$$

Приведенные рассуждения эксперта отражают предпочтительную зависимость показателей эффективности, известную в теории полезности. Никакой аддитивный оператор агрегирования, в том числе и средневзвешенный, не пригоден для формализации предпочтительной зависимости [9]. Альтернативой средневзвешенному оператору служит нечеткий дискретный интеграл Шоке по нечеткой мере [10]. Он является обобщением средневзвешенного оператора на случай зависимостей показателей и применяется в качестве оператора агрегирования, позволяющего отражать знания эксперта о зависимостях показателей посредством настройки коэффициентов нечеткой меры.

Нечеткая (дискретная) мера есть функция множества $\psi: 2^J \rightarrow [0, 1]$, где 2^J – множество всех подмножеств множества индексов показате-

телей J , которая удовлетворяет следующим условиям: 1) $\psi(\emptyset) = 0$, $\psi(J) = 1$; 2) $\forall D, B \subseteq J: D \subseteq B \Rightarrow \psi(D) \leq \psi(B)$ и выражает относительный вес или важность не только каждого отдельного показателя, но и всякого подмножества показателей.

Нечеткий (дискретный) интеграл Шоке от показателей g_1, \dots, g_H по нечеткой мере ψ определяется выражением $C_\psi(g_1, \dots, g_H) =$

$$= \sum_{h=1}^H g_{(h)} [\psi(A_{(h)}) - \psi(A_{(h+1)})],$$

где нижний индекс, указанный в скобках, $(*)$ означает такую перестановку индексов в J , что $x_{(1)} \leq \dots \leq x_{(H)}$; $A_{(h)} = \{(h), \dots, (H)\}$ и $A_{(H+1)} = \emptyset$. На практике из-за экспоненциально возрастающей сложности нечеткой меры часто ограничиваются применением интеграла Шоке 2-го порядка, поскольку он позволяет моделировать знания эксперта о зависимостях показателей, оставаясь относительно простым. При этом не рассматриваются зависимости более чем между двумя показателями. Интеграл Шоке 2-го порядка имеет вид:

$$C_\psi(g_1, \dots, g_H) = \sum_{i \in J} \psi(i) g_i + \sum_{\{i, j\} \subseteq J} (\psi(ij) - \psi(i) - \psi(j)) \min(g_i, g_j).$$

Для того чтобы получить обобщенный показатель эффективности внедрения ИС на основе интеграла Шоке, необходимо идентифицировать нечеткую меру, используя тот или иной метод идентификации [11, 12]. На основе предпочтений эксперта, выраженных соотношениями (1) и (2), формируются в виде неравенств входные данные для идентификации. Для этого применяется «представление взаимодействия» интеграла Шоке. В соответствии с этим представлением вводятся индексы важности каждого показателя (индексы Шепли) и индексы взаимодействия для каждой пары показателей. Индекс Шепли показателя i выражает относительный «вес» (или «важность») показателя i и в случае

$$2\text{-го порядка имеет вид: } \Phi_{Sh}(i) = \psi(i) + \frac{1}{2} \sum_{j \in (J-1)} (\psi(i, j) - \psi(i) - \psi(j)), i \in J.$$

Индекс взаимодействия между показателями i и j для случая 2-го порядка имеет вид: $I(i, j) = \psi(i, j) - \psi(i) - \psi(j)$, $\{i, j\} \in J$ и выражает степень и знак взаимодействия между этими показателями.

Существует несколько методов идентификации нечетких мер, которые отличаются видами информации, требуемой в качестве входной. В случае формализации знаний, касающихся оценки эффективности внедрения ИС, эта информация первоначально представлена соотношениями (1) и (2), а также суждениями эксперта о возможных зависимостях для каждой пары показателей. Взаимозаменяемость и положительную корреляцию показателей выражают отрицательным

индексом их взаимодействия ($I(i, j) < 0$), взаимозависимость и отрицательную корреляцию выражают положительным знаком соответствующего индекса взаимодействия ($I(i, j) > 0$). Если показатели независимы, то $I(i, j) = 0$. Соотношения вида (1), (2) переводят в неравенства с положительными порогами безразличия с использованием следующих выражений [11]:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{g} \succ_A \mathbf{g}' &\Leftrightarrow C_\Psi(\mathbf{g}) - C_\Psi(\mathbf{g}') \geq \delta_C \\
 \mathbf{g} \succ_A \mathbf{g}' &\Leftrightarrow \delta_C \leq C_\Psi(\mathbf{g}) - C_\Psi(\mathbf{g}') \leq \delta_C \\
 g_i \sim_J g_j &\Leftrightarrow \Phi_{Sh}(i) - \Phi_{Sh}(j) \leq \delta_{Sh} \\
 g_i \succ_J g_j &\Leftrightarrow \Phi_{Sh}(i) - \Phi_{Sh}(j) \geq \delta_{Sh}.
 \end{aligned} \tag{3}$$

где δ_C , δ_{Sh} – положительные пороги безразличия, которые определяются экспертом. В [13] рассмотрен вопрос выбора значений порогов безразличия, не приводящих заведомо к отсутствию решения задачи идентификации.

Рассмотрим методы идентификации нечеткой меры, где входная информация может быть представлена знаками индексов взаимодействия показателей и предпочтениями эксперта, выраженными неравенствами (3). Метод на основе максимального разделения [11] подходит для задач распознавания, поскольку предполагает максимизацию минимальной разности между результатами агрегирования на обучающей выборке. При этом эксперт описывает экземпляры каждого класса и ранжирует их с помощью нестрогого порядка, что служит входной информацией для метода. Метод на основе минимизации дисперсии нечеткой меры или, что то же самое, максимизации энтропии, является наиболее приспособленным для решения многих практических задач [14]. Применительно к построению операторов агрегирования этот метод предполагает использование всей доступной информации об агрегировании показателей, но максимально непредвзятое отношение к недоступной информации. Таким образом, при оценке эффективности внедрения ИС целесообразно применение метода идентификации нечетких мер на основе максимизации энтропии.

Обобщенный показатель эффективности внедрения ИС. Этот показатель должен учитывать факты достижения локальными показателями эффективности своих пороговых значений после завершения внедрения, а также на каждом его этапе. Поэтому, кроме самого оператора агрегирования, обобщенный показатель содержит функцию с параметрами в виде пороговых значений показателей g_1^p, \dots, g_H^p и номера этапа внедрения k . Эта функция позволит в соответствии с предпочтениями эксперта менять значение обобщенного показателя в зави-

симости от достижения локальными показателями своих пороговых значений: $\Omega = f(g_1, \dots, g_H, g_1^p, \dots, g_H^p, \kappa, \text{Agg}(g_1, \dots, g_H))$. Продолжим ранее начатый пример. Рассмотрим обобщенный показатель Ω на основе агрегирования показателей g_1, g_2, g_3 . Пусть эксперт рассуждает следующим образом. Для того чтобы считать внедрение ИС успешным, на пятом завершающем этапе этого внедрения ($\kappa = 5$) показатели должны достигнуть своих пороговых значений на нормализованных шкалах: g_1^p, g_2^p, g_3^p . В противном случае внедрение ИС нельзя считать успешным и показатель Ω следует обнулить. В соответствии с такими рассуждениями

$$\Omega = \begin{cases} 0, & \text{если } \kappa = 5, \exists h \in J, g_h - g_h^p \leq 0 \\ C_\psi(g_1, \dots, g_H) & \text{иначе.} \end{cases}$$

Другим вариантом построения обобщенного показателя может быть выбор наиболее критичных локальных показателей эффективности для каждого этапа внедрения таким образом, что функция f будет отражать эти экспертные предпочтения.

Заключение. Предложен подход к оценке эффективности внедрения ИС на предприятиях на основе применения нечетких мер и интеграла Шоке. Рассмотрен общий вид обобщенного показателя эффективности и соответствующего оператора агрегирования. Применение указанного аппарата позволяет учитывать взаимозависимости показателей при оценке эффективности внедрения ИС на каждом этапе. Предложенный подход позволит строить более точные модели оценки эффективности внедрения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Монахова Е. Причины неудачных ERP-проектов: версии консультантов. *PC Week/RE*, 2004, № 16, с. 34, 35.
- [2] Свиначев С. Как сделать ERP-проект успешным. *PC Week/RE*, 2005, № 8, с. 44.
- [3] Яфуров А. Внедрение КИС: подводные камни проектов. *PC Week/RE*, 2004, № 15, с. 54, 55, 60.
- [4] The Top 10 Causes behind CRM Project Failures. Adaptra Inc. URL: <http://www.adaptra.com.au/PDF/adaptra-whitepaper-top-10-CRMPF.pdf>. 2012. 2 p. (дата обращения 3.04.2013).
- [5] Ипатов Ю., Цыгалов Ю. Экономическая эффективность инвестиций в ИТ: оптимальный метод оценки. *PC Week/RE*, 2004, № 33, с. 34–35, 37.
- [6] Насакин Р. ИТ-арифметика. Насколько полезны автоматизированные системы управления. *PC Week/RE*, 2004, № 32, с. 34, 35.
- [7] Безкоровайный М.М., Костогрызов А.И. Инструментально-моделирующий комплекс для оценки качества функционирования информационных систем «КОК». Москва, СИНТЕГ, 2000, 113 с.

- [8] Grabisch M., Orlovski S., Yager R. Fuzzy aggregation of numerical preferences. *Handbook of Fuzzy Sets Series*. R. Slowinski (ed.), Dordrecht, Kluwer Academic. 1998, vol. 4. Fuzzy Sets in Decision Analysis, Operations Research and Statistics, pp. 31–68.
- [9] Мулен Э. *Кооперативное принятие решений: Аксиомы и модели*. Москва, Мир, 1991, 463 с.
- [10] Grabisch M. k-order additive discrete fuzzy measures and their representation. *Fuzzy Sets & Systems*, 1997, № 92, pp. 167–189.
- [11] Marichal J.-L., Roubens M. Determination of weights of interacting criteria from a reference set. *European Journal of Operational Research*, 2000, № 124, pp. 641–650.
- [12] Grabisch M., Kojadinovic I., Meyer P. A review of methods for capacity identification in Choquet integral based multi-attribute utility theory: Applications of the Kappalab R package. *European Journal of Operational Research*, 2008, № 186(2), pp. 766–785.
- [13] Сакулин С.А. К вопросу об идентификации параметров интеграла Шоке 2-го порядка. *Вестник ИРГТУ*, 2008, № 3(35), с. 205–208.
- [14] Kojadinovic I. Minimum variance capacity identification. *European Journal of Operational Research*, 2007, vol. 177 (1), pp. 498–514.

Статья поступила в редакцию 28.06.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Сакулин С.А., Максаков А.А. Подход к оценке эффективности внедрения информационных систем предприятий. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 11. URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/asu/1050.html>

Сакулин Сергей Александрович родился в 1976 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2001 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Информационные системы и телекоммуникации» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 18 научных публикаций. Область научных интересов: методы искусственного интеллекта, распознавание образов, формализация и визуализация экспертных знаний. e-mail: sakulin@bmstu.ru

Максаков Алексей Александрович родился в 1977 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2001 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Системы обработки информации и управления» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 10 научных публикаций. Область научных интересов: модели и алгоритмы оценки качества информационных систем, теоретические основы построения баз данных, методы оптимизации информационных процессов. e-mail: 256m@mail.ru