



# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

И. И. Исмагилов, А. И. Белов, Формирование портфеля проектов интеграции предприятия в электронную коммерцию с применением генетических алгоритмов,  
*Исслед. по информ.*, 2007, выпуск 12, 94–103

<https://www.mathnet.ru/ipi188>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<https://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.174

28 апреля 2025 г., 06:48:39



## **ФОРМИРОВАНИЕ ПОРТФЕЛЯ ПРОЕКТОВ ИНТЕГРАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ В ЭЛЕКТРОННУЮ КОММЕРЦИЮ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ**

**И.И. Исмагилов, А.И. Белов**

Развитие информационных технологий стимулировало разработку систем электронной коммерции (СЭК), которые вобрали в себя лучшие идеи и методы традиционного бизнеса и успешно развили их в условиях становления информационной экономики. Применение этих систем на предприятиях позволяет существенно снизить административные расходы, затраты на закупку необходимого оборудования и сырья, упростить общение с клиентами и поставщиками, максимально использовать возможности аутсорсинга [1].

Несмотря на все преимущества, получаемые предприятием от внедрения СЭК, необходимо помнить и об их высокой стоимости. Кроме того, внедрение современной информационной системы требует наличия высококвалифицированных и высокооплачиваемых специалистов для ее поддержки.

По мнению экспертов, наиболее перспективными для предприятия являются следующие СЭК, относящиеся к классу В2В (business-to-business) [1]:

- электронные системы материально-технического снабжения (e-Procurement);
- электронные системы взаимодействия с поставщиками (e-SRM, Supplier Relationship Management);
- электронные системы управления цепочками поставок (e-SCM, Supply Chain Management);
- электронные системы управления продажами (e-Distribution);
- электронные системы взаимодействия с клиентами и партнерами (e-CRM, Customer Relationship Management);
- отраслевые и межотраслевые торговые площадки (e-Marketplace);
- корпоративные информационные порталы (EIP, Enterprise Information Portal);
- электронные внутрикорпоративные порталы по работе с персоналом (e-HRO, Human Resources Outsourcing).

Перечисленные выше СЭК являются инструментами, с помощью которых осуществляется интеграция предприятия в электронную коммерцию (ЭК). Их внедрение требует от высшего менеджмента предприятия, в пер-

вую очередь, четкого осознания стратегических целей дальнейшего развития. Далее следует определить множество СЭК, порядок их внедрения, оценить ресурсы и возможные выгоды, т.е. возникает необходимость решения задач управления портфелем проектов предприятия. Отметим, что среди этих задач особая роль отводится задаче формирования портфеля проектов.

Анализ существующих математических моделей и методов формирования портфеля проектов, приведенный в [2], позволяет сделать вывод, что эффективные классические методы решения подобных задач существуют лишь для определения фиксированного портфеля при соблюдении условий независимости его проектов друг от друга и отсутствия ресурсных и временных ограничений.

В настоящей работе предлагается методика формирования портфеля проектов интеграции предприятия в ЭК, предполагающая выполнение следующих этапов:

1. Определение стратегии интеграции в ЭК.
2. Формирование исходного множества инструментов ЭК для выбранной стратегии.
3. Сбор информации о существующих на рынке СЭК, включенных в исходное множество инструментов ЭК.
4. Отбор инструментов ЭК на основе выполнения условий интегрируемости, открытости, многоязычности и других требований лица, принимающего решение (ЛПР).
5. Определение основных параметров отобранных инструментов ЭК, необходимых для построения рациональной последовательности их внедрения.
6. Определение ограничений на порядок внедрения инструментов ЭК.
7. Разработка критериев оптимальности получаемых решений.
8. Поиск наиболее рациональных последовательностей внедрения инструментов ЭК с учетом основных и дополнительных ограничений.
9. Предоставление лучших вариантов сформированных портфелей ЛПР.
10. Неформальный анализ лучших портфельных решений ЛПР и выбор портфеля проектов для реализации.

Рассмотрим отдельные этапы предлагаемой методики более подробно.

Для определения корпоративной стратегии интеграции в ЭК целесообразно применение классических матричных методик, доказавших на практике свою надежность и применимость [3-7]:

- модель BCG;
- модель GE/McKinsey;
- модель Shell/DPM;
- модель ADL/LC;
- модель Hofer/Schendel;

– модель аутсорсинга.

Данный перечень моделей является неполным и включает лишь наиболее известные методики. Каждая из них имеет ряд особенностей, ограничивающих ее применение, и потому ни одна из них не является универсальной методикой стратегического планирования. Обеспечить рациональный выбор стратегического решения можно с помощью применения многомодельного подхода. При этом подходе из анализируемого набора методик разработки стратегического плана развития предприятия осуществляется отсев тех, которые не подходят в конкретной ситуации. Далее в рамках каждой из оставшихся методик производится полный набор действий для определения оптимальной стратегии развития. Затем полученные решения агрегируются и определяется рациональный набор инструментов ЭК, который следует внедрить на предприятии.

Применение матричных моделей управления портфелем проектов предполагает использование ряда количественных показателей о внутренней и внешней среде предприятия. Однако получение точных количественных характеристик в условиях неопределенности современного рынка сильно затруднено. Нередко имеет место сокрытие внутрикорпоративных данных участников рынка, невозможность объективно оценить собственные показатели эффективности. Кроме того, стремительность изменения рыночной ситуации может привести к недостоверным оценкам. Таким образом, имеет место проблема недостатка полной и достоверной информации.

Применение классических математических методов в данной ситуации становится весьма затруднительным. Наиболее простым и целесообразным решением проблемы является применение математического аппарата теории нечетких множеств. Исходные данные, характеризующиеся неопределенностью, «размываются», то есть представляются в виде нечетких чисел. Таким образом, достигается дополнительный запас устойчивости производимых оценок и вычислений. Кроме того, применение лингвистического анализа высказываний экспертов позволяет компенсировать в определенной мере неполноту необходимой информации. Методы работы с нечеткими множествами в экономических задачах, а также процесс лингвистического анализа высказываний экспертов, подробно описаны в работах [8-10].

Необходимым этапом формирования портфеля проектов является оценка требуемых ресурсов и затрат. При этом важно определить рациональную последовательность внедрения инструментов ЭК. Каждый из них способен приносить доход сразу же после начала работы, поэтому очень часто становится возможным построение последовательности на условиях высокой самоокупаемости. Это приводит к значительной экономии финансовых затрат при внедрении инструментов ЭК. Кроме того, необходимо

принять во внимание ресурсные, временные и иные возможные ограничения.

Рассмотрим задачу определения рациональной последовательности внедрения инструментов ЭК.

Пусть имеется множество инструментов ЭК  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ , каждый из которых характеризуется кортежем

$$(c_i, d_i, \tau_i), \quad i \in I = \{1, 2, \dots, n\},$$

где  $c_i$  – финансовые затраты,  $d_i$  – прибыль в единицу времени после начала работы,  $\tau_i$  – временные затраты на внедрение  $i$ -го инструмента ЭК.

Предполагается, что каждый инструмент ЭК начинает приносить определенную прибыль сразу же после окончания его внедрения.

Множество всех допустимых переупорядочений  $A$  обозначим через  $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_p\}$ . В качестве критерия эффективности последовательности внедрения инструментов ЭК  $Q_j$ ,  $j = \overline{1, p}$ , выберем функцию финансового эффекта вида

$$F(Q_j) = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ij} d_i}{\sum_{i=1}^n c_i}, \quad (1)$$

где  $t_{ij}$  – время работы  $i$ -го инструмента ЭК в период реализации портфеля проектов  $T_j$ .

Тогда задача определения оптимальной последовательности внедрения инструментов ЭК  $Q^*$  сводится к задаче максимизации целевого критерия эффективности:

$$F(Q^*) = \max_{j=\overline{1, p}} \{F(Q_j)\}.$$

В общем случае искомая последовательность инструментов ЭК не является линейной, а задается сетевым графиком. Она может быть представлена в виде ориентированного графа. Для удобства вычислений и построения графа целесообразно использовать матрицу  $A_n$  смежности графа. В нашем случае она имеет вид:

$$A_n = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}.$$

Каждый элемент матрицы смежности  $a_{ij}$  может принимать значения 0 или 1, в связи с чем легко кодируется с помощью одного бита. Для дальнейшей работы с графом его матрица смежности построена построчным сканирова-

нием записывается в одну строку. При этом следует учесть, что граф не имеет петель, и на его главной диагонали находятся нулевые элементы. Они являются несущественными и не включаются в строящуюся строку бит. В итоге получается вектор размерности  $n(n-1)$  [11]:

$$\mathbf{V} = (a_{12}, a_{13}, \dots, a_{1n}, \dots, a_{21}, \dots, a_{i(i-1)}, a_{i(i+1)}, \dots, a_{in}, \dots, a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{n(n-1)}).$$

Оценка эффективности получаемых решений производится на основе этого вектора и параметров каждого из инструментов ЭК.

Универсальным методом решения сформулированной задачи является метод полного перебора, который характеризуется значительной вычислительной трудоемкостью нахождения решения при высокой размерности задачи оптимизации. Количество итераций при решении рассматриваемой задачи методом полного перебора равно  $2^L$ , где  $L$  – размерность вектора  $\mathbf{V}$ .

Для более быстрого нахождения рационального решения при высоких значениях  $n$  целесообразно использовать генетические алгоритмы [12]. Следует отметить, что применение генетических алгоритмов часто может привести к нахождению не самого лучшего решения, поэтому в нашем случае речь можно вести лишь об определении рациональной последовательности внедрения инструментов ЭК. Однако задачи стратегического планирования экономической деятельности предполагают существенную неопределенность исходных данных и высокую динамику изменения внешних воздействий на систему, в связи с чем о преобладании одного решения над другим можно говорить лишь с некоторой достоверностью.

Вычислительная трудоемкость обоих указанных подходов к оптимизации последовательности внедрения инструментов ЭК сильно зависит от их количества  $n$ . При увеличении  $n$  возрастает время, затрачиваемое компьютером для вычисления. Поэтому следует обратить внимание на возможность сокращения размерности  $\mathbf{V}$ .

При использовании для построения  $\mathbf{V}$  матрицы смежности ориентированного графа в векторе оказывается большое количество нулевых элементов. В случае, когда формируемый граф является деревом, имеется возможность его представления с помощью матрицы смежности неориентированного графа.

Как известно, матрица смежности неориентированного графа является симметричной относительно главной диагонали. Для определения направления дуг в дереве вводится корневой элемент  $A_0$ , т.е. исходная матрица  $A_n$  дополняется соответствующими строкой и столбцом:

$$\mathbf{A}_{n+1} = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} & \dots & a_{0n} \\ a_{10} & & & \\ \dots & & \mathbf{A}_n & \\ a_{n0} & & & \end{pmatrix}.$$

Этот корневой элемент является отображением в графе фиктивного инструмента ЭК и необходим лишь для указания начальной точки графа. Показатели затрат и прибыли фиктивного инструмента ЭК равны нулю.

Для неориентированного графа при построении соответствующего двоичного вектора не рассматриваются элементы, находящиеся под главной диагональю, так как матрица является симметричной:

$$a_{ij} = a_{ji}, i, j \in \overline{0, n}, i \neq j.$$

При этом вектор  $\mathbf{V}_i$  имеет вид:

$$\mathbf{V}_i = (a_{01}, \dots, a_{0n}, \dots, a_{i(i+1)}, \dots, a_{in}, \dots, a_{(n-1)n}),$$

а его размерность равна величине  $n(n+1)/2$ .

Определим, какой из способов представления графа дает более короткую строку бит. Условием выбора матрицы смежности неориентированного графа будет:

$$n(n-1) - \frac{1}{2}n(n+1) > 0, n \in N \setminus \{1\},$$

где  $N$  – множество натуральных чисел.

Решение данного неравенства дает следующий результат:

- 1) при  $1 \leq n < 3$  наиболее целесообразно использовать вектор  $\mathbf{V}$ ;
- 2) при  $n = 3$  вектора  $\mathbf{V}$  и  $\mathbf{V}_i$  имеют одинаковую размерность 6;
- 3) при  $n > 3$  целесообразно использовать вектор  $\mathbf{V}_i$ .

Здесь следует обратить внимание на то, что при малых значениях  $n$  применение обоих способов представления графа дает короткую строку бит, и вычисление функции финансового эффекта выполняется достаточно быстро.

Предлагаемый для решения рассматриваемой задачи генетический алгоритм предполагает выполнение следующих шагов:

1. Задание параметров алгоритма: вероятности мутации  $P_m$ , вероятности кроссинговера  $P_c$ , размера популяции  $M$ ,  $F_{\max} = 0$ .

2. Формирование начальной популяции из  $M$  особей (строк бит размерности  $n(n+1)/2$ ) с помощью генератора случайных чисел.

3. Вычисление значений функции приспособленности особей путем выполнения шагов 4-9 для каждой из них.

4. Выбор корневого элемента в качестве текущего для построения последовательности внедрения инструментов ЭК в виде дерева.

5. Определение наборов следующих элементов и добавление их в дерево инструментов ЭК.

6. На основе структуры полученного дерева инструментов ЭК и информации о затратах времени на внедрение каждого инструмента осуществляется расчет длительности  $T_{kj}$  пути  $k \in G$  для каждой  $j$ -й особи от корневого элемента дерева до конечного, где  $G$  – множество путей от корневого элемента графа до конечного.

7. Определение максимального значения длины пути (полного времени реализации портфеля проектов)  $T_j = \max_{k \in G} \{T_{kj}\}$ .

8. Расчет времени работы каждой из систем за период  $T_j$

$$t_{ij} = T_j - \sum_{m \in L_{0i}^j} \tau_m,$$

где  $L_{0i}^j$  – множество элементов от корневого элемента до  $i$ -го элемента.

9. Расчет финансового эффекта от реализации портфеля проектов  $F(Q_j)$  по формуле (1) и запоминание строки бит в случае, если его значение превышает наилучший полученный ранее результат  $F_{\max}$ .

10. Если в течение последних  $10M$  итераций значение  $F_{\max}$  не изменялось, то переход к шагу 16, иначе – к шагу 11.

11. Отбор лучших особей методом пропорционального отбора и формирование популяции размером  $M$ .

12. Выбор случайным образом  $M/2$  пар особей из популяции.

13. Проведение над каждой парой операции кроссинговера с вероятностью  $P_c$  с помощью оператора простого одноточечного кроссинговера.

14. Реализация оператора мутации: инвертирование бит особей с вероятностью  $P_m$ .

15. Переход к шагу 3.

16. Завершение работы.

Была осуществлена программная реализация предлагаемого алгоритма на языке Java. Для проведения тестовых расчетов использовался персональный компьютер с двухъядерным процессором Intel Pentium D с тактовой частотой 3 ГГц.

Приведем тестовый пример.

Набор инструментов ЭК и их характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1

Условное обозначение инструмента ЭК	Название инструмента ЭК	Финансовые затраты на внедрение $c_i$ , тыс. руб.	Затраты времени на внедрение $\tau_i$ , дней	Прибыль в единицу времени после внедрения $d_i$ , тыс. руб
$S_0$	CRM-система	200	40	7
$S_1$	SRM-система	50	15	5
$S_2$	Система e-Procurement	100	18	4
$S_3$	SCM-система	160	21	4
$S_4$	Система e-Distribution	50	14	1
$S_5$	Система e-Marketplace	110	45	2
$S_6$	Система e-HRM	100	10	1



В тестовом примере введено следующее ограничение: одновременно разрешается внедрять только один инструмент ЭК.

Настройки генетического алгоритма:  $P_m = 0,05$ ,  $P_c = 0,95$ ,  $M = 100$ .

Результаты вычислений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметр	Метод полного перебора	Генетический алгоритм
Последовательность внедрения СЭК	S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> , S <sub>0</sub> , S <sub>6</sub> , S <sub>4</sub> , S <sub>5</sub>	
Значение финансового эффекта	2,965	
Время вычислений	23 мин	2 мин
Количество итераций	268 435 456	17 662

Как видно, с точки зрения скорости нахождения решения при большом числе инструментов ЭК применение генетического алгоритма предпочтительнее использования метода полного перебора. Заметим, что в случае небольшого количества инструментов ЭК ( $n \leq 4$ ) затраты времени на вычисления примерно равны для обоих методов.

Для случая, когда инструменты ЭК внедряются один за другим последовательно, целесообразно использовать другой вариант генетического алгоритма. В нем каждый ген представляет собой порядковый номер системы в их общем списке, а последовательность генов в особи описывает последовательность внедрения инструментов ЭК.

Например, для результата, полученного с помощью метода полного перебора в предыдущем примере, генетический код особи запишется так:

1 2 3 0 6 4 5 ,

а его двоичное представление будет иметь следующий вид:

001 010 011 000 110 100 101 .

В используемом генетическом алгоритме оператор кроссинговера оставлен без изменения. Мутацию опишем следующей последовательностью действий:

1. Инвертирование бит гена с вероятностью  $P_m$ .
  2. Поиск в генетическом коде особи гена с идентичным набором бит.
  3. Если ген найден, то найденный и текущий ген меняются местами.
- В качестве оператора селекции используется алгоритм рулетки.

Для иллюстрации работы генетического алгоритма используем данные об инструментах ЭК, представленные в табл. 3.

Таблица 3

Условное обозначение инструмента ЭК	Название инструмента ЭК	Финансовые затраты на внедрение $c_i$ , тыс. руб.	Затраты времени на внедрение $\tau_i$ , дней	Прибыль в единицу времени после внедрения $d_i$ , тыс. руб
<b>Вариант А</b>				
$S_0$	CRM-система	200	40	7
$S_1$	Система e-HRM	100	10	1
$S_2$	SCM-система	160	21	4
$S_3$	Система EIP	115	18	2
<b>Вариант Б</b>				
$K_0$	CRM-система	200	40	7
$K_1$	SRM-система	50	15	5
$K_2$	Система e-Procurement	100	18	4
$K_3$	SCM-система	160	21	4
$K_4$	Система e-Distribution	50	14	1
$K_5$	Система e-Marketplace	110	45	2
$K_6$	Система EIP	115	18	2
$K_7$	Система e-HRM	100	10	1

Настройки генетического алгоритма для обоих вариантов:  $P_m = 0,01$ ,  $P_c = 0,95$ ,  $M = 10n$ . Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Параметр	Вариант А		Вариант Б	
	Метод полного перебора	Генетический алгоритм	Метод полного перебора	Генетический алгоритм
Последовательность внедрения СЭК	$S_2, S_0, S_3, S_1$		$K_1, K_2, K_3, K_0, K_6, K_7, K_4, K_5$	
Значение финансового эффекта	0,849		3,142	
Время вычислений	940 мкс	15 мс	1625 мс	140 мс
Количество итераций	$4! = 24$	514	$8! = 40\,320$	1 730

Как видно, с точки зрения времени нахождения оптимального решения применение генетического алгоритма при увеличении количества внедряемых инструментов ЭК является более целесообразным.

Следует обратить внимание на то, что используемые в расчетах параметры инструментов ЭК ( $c_i, d_i, \tau_i$ ) не могут быть оценены с высокой точностью. Поэтому целесообразно их описывать в виде нечетких чисел простейшей формы (треугольные или трапециевидные), что позволит проводить решение рассматриваемой задачи в нечеткой постановке.

Предложенная методика формирования портфеля проектов интеграции предприятия в ЭК позволяет упростить процесс принятия стратегиче-

ского решения о развитии предприятия и заранее оценить необходимые затраты и эффект от внедрения. Методика построена с использованием современных методов оптимизации, а получаемые с ее помощью модели обладают дополнительным запасом устойчивости, что немаловажно в условиях современного динамичного рынка.

Дальнейшее развитие предлагаемой методики предполагает более детальное рассмотрение и выявление основных параметров и ограничений СЭК, необходимых для формирования рационального портфеля проектов. Применение в качестве функции полезности лишь финансового эффекта является упрощением методики, в связи с чем в дальнейшем необходима разработка множества критериев оптимальности получаемых результатов и решение задач в многокритериальной постановке.

### Литература

1. Юрасов А.В. Электронная коммерция: Учеб. пособие. – М.: Дело, 2003.
2. Матвеев А.А., Новиков Д.А., Цветков А.В. Модели и методы управления портфелями проектов. – М.: ПМСОФТ, 2003.
3. Голубков Е.П. Стратегическое планирование и роль маркетинга в организации. <http://www.cfin.ru/press/marketing/2000-3/11.shtml>.
4. Ефремов В.С. Классические модели стратегического анализа и планирования: модель ADL/LC. <http://www.cfin.ru/press/management/1998-1/09.shtml>.
5. Ефремов В.С. Классические модели стратегического анализа и планирования: модель HOFER/SCHENDEL. <http://www.cfin.ru/press/management/1998-2/08.shtml>.
6. Ефремов В.С. Классические модели стратегического анализа и планирования: модель Shell/DPM. <http://www.cfin.ru/press/management/1998-3/07.shtml>.
7. Хлебников Д. Рабочие группы как инструмент организационных преобразований. [http://www.e-executive.ru/publications/ aspects/project/article\\_1221/](http://www.e-executive.ru/publications/ aspects/project/article_1221/).
8. Батыршин И.З. Основные операции нечеткой логики и их обобщения. – Казань: Отечество, 2001.
9. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
10. Недосекин А.О. Оценка риска бизнеса на основе нечетких данных. [http://sedok.narod.ru/sc\\_group.html](http://sedok.narod.ru/sc_group.html).
11. Асельдеров З.М., Донец Г.А. Представление и восстановление графов. – Киев: Наук думка, 1991.
12. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006.