

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КАК СРЕДСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АДАПТИВНОСТИ ФИРМЫ В НЕСТАБИЛЬНОЙ СРЕДЕ

А.А. Коломоец, В.В. Клочков

Предложена экономико-математическая модель фирмы, содержащей в своем контуре управления систему поддержки принятия решений. Введены показатели качества и эффективности информационных систем (ИС) данного класса. Рассмотрена задача оптимизации параметров ИС в смысле максимизации ожидаемой прибыли фирмы. Разработанные подходы продемонстрированы на примере системы учета числа проданных авиабилетов.

**Ключевые слова:** информационная система, экономическая эффективность, имитационное моделирование, ограниченная рациональность, контур управления, адаптивность.

## ВВЕДЕНИЕ

Информационные системы (ИС) не приносят экономического эффекта сами по себе, однако они позволяют реализовать более эффективные стратегии бизнеса [1–3]. Представляется целесообразным рассматривать ИС как звено в контуре управления организацией.

При таком подходе появляется возможность применять методологию, развитую в целях разработки систем управления техническими объектами, в частности, применять средства численного (имитационного) моделирования, например, MatLab/Simulink [4–6]. В рамках такого подхода приобретают вполне определенный смысл понятия наблюдаемости, управляемости, устойчивости и др. Соответствующие этим понятиям характеристики вполне можно рассматривать как свойства «мягкой» модели [7], в отличие от количественных результатов моделирования, которые, с одной стороны, должны базироваться на больших объемах статистических данных, а с другой, заслуживают значительно меньшего доверия.

Информационные системы, в частности, системы поддержки принятия решений (СППР) позволяют автоматизировать сбор и обработку информации как о текущем состоянии окружающей среды, так и о тенденциях происходящих изменений. Это повышает *адаптивность* организации [8], т. е.

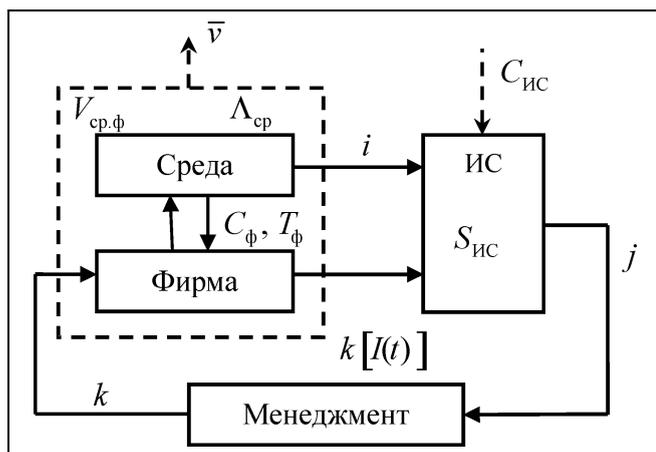
дает ей возможность активно реагировать на изменения окружающей среды с положительным экономическим эффектом — например, получая приращение прибыли (или, по крайней мере, минимизируя потери). Наличие ИС снижает остроту проблемы *ограниченной рациональности* при принятии решений, подробно рассматриваемой в рамках институциональной экономики [9].

Наличие СППР в контуре управления организации позволяет реализовать новые модели поведения фирм, характеризующиеся способностью подстраиваться под изменения окружающей среды. Экономический эффект (например, приращение прибыли предприятия с учетом затрат на создание и поддержку ИС), который может быть достигнут таким образом, будем считать мерой эффективности СППР. Далее изложены подходы к решению двух задач: оценки экономической эффективности ИС и оптимизации ее параметров для обеспечения максимальной эффективности.

## 1. УПРОЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ФИРМЫ В НЕСТАБИЛЬНОЙ СРЕДЕ

Рассмотрим каждый из элементов схемы, приведенной на рис. 1.

**Среда.** Здесь под средой подразумевается окружение фирмы — рыночное, макроэкономическое, институциональное, технологическое и др. Пола-



**Рис. 1. Контур управления предприятия (фирмы):**

$i$  — действительное состояние среды;  $j$  — идентифицированное состояние среды;  $k$  — избранная стратегия поведения;  $\Lambda_{cp}$  — переходная матрица среды;  $V_{cp,ф}$  — платежная матрица;  $C_{ф}$  и  $T_{ф}$  — матрицы материальных и временных затрат на смену стратегии поведения;  $S_{ис}$  — матрица, характеризующая качество ИС;  $\bar{v}$  — средняя прибыль фирмы в единицу времени без учета затрат на ИС;  $C_{ис}$  — затраты на ИС

гаем, что действия фирмы не влияют на окружающую среду (ситуация совершенной конкуренции). Среда может находиться в одном из многих возможных состояний. Считая число состояний конечным и равным  $n_{cp}$ , далее будем обозначать состояния среды индексами  $i = 1, \dots, n_{cp}$ . Будем описывать динамику среды дискретным марковским процессом с переходной матрицей  $\Lambda_{cp}$ , задающей вероятности перехода между соответствующими состояниями среды в единицу времени (*интенсивности* перехода). Переходная матрица полностью характеризует с вероятностной точки зрения случайный процесс изменения состояния среды и, в частности, позволяет вычислять [10]: характерное время перехода системы в установившийся режим  $\tau_{cp} = -1/\ln \lambda_{max}$ , где  $\lambda_{max}$  — максимальное собственное число матрицы  $\Lambda_{cp}$ , меньшее единицы, а также в установившемся режиме:

- вероятности  $\{p_i\}$  обнаружить среду в любом заданном состоянии как компоненты собственного вектора матрицы  $\Lambda_{cp}$ , соответствующего собственному числу 1 (можно показать, что для переходной матрицы такое собственное число всегда существует),

- интенсивности переходов между  $i$ -м и  $j$ -м состояниями среды  $\eta_{ij} = \lambda_{ij} p_j$ ;

- средние продолжительности непрерывного пребывания среды в любом заданном состоянии  $T_i = 1/(1 - \lambda_{ii})$ .

Дополнительно предположим, что, кроме краткосрочных изменений состояния среды, определя-

емых переходной матрицей  $\Lambda_{cp}$ , существуют «структурные сдвиги», т. е. качественные изменения поведения среды, приводящие к существенному изменению самой переходной матрицы. Обозначим характерное время, в течение которого переходная матрица  $\Lambda_{cp}$  неизменна,  $T_{cp}$ . Для того, чтобы дальнейшие рассуждения имели смысл, необходимо, чтобы выполнялось условие  $T_{cp} \gg \tau_{cp}$ .

**Фирма.** Состояние фирмы определяется принятой стратегией<sup>1</sup> поведения  $k$ . В качестве примеров стратегий можно привести выбор объемов выпуска и ассортимента продукции, поставщиков, способов инвестирования средств, продуктовой линейки [8], целевой аудитории и т. д. Считая число возможных стратегий конечным и равным  $n_{ф}$ , далее будем обозначать стратегии  $k = 1, \dots, n_{ф}$ .

Мобильность фирмы характеризуется издержками и временем, необходимым на смену стратегии. Издержки на смену стратегий опишем матрицей  $C_{ф}$  размерностью  $n_{ф} \times n_{ф}$ , каждый элемент которой  $c_{kl}$  определяет издержки на смену стратегии  $k$  на стратегию  $l$ . Время, необходимое для смены стратегий, опишем матрицей  $T_{ф}$  размерностью  $n_{ф} \times n_{ф}$ , каждый элемент которой  $T_{kl}$  определяет время, необходимое для смены стратегии  $k$  на стратегию  $l$ . Будем считать, что  $T_{kl}$  включает в себя также время установления равновесия между средой и фирмой после смены стратегии.

**Информационная система поддержки принятия решений.** Качество ИС (в данном случае СППР) будем моделировать матрицей  $S_{ис}$ , каждый элемент которой  $s_{ij}$  определяет вероятность того, что ИС идентифицирует состояние среды  $i$  как  $j$ . Для идеальной ИС, очевидно, матрица  $S_{ис}$  будет единичной, а по мере совершенствования реальной ИС — будет стремиться к этому идеалу. В данной работе для простоты будем полагать, что изменение качества ИС происходит скачкообразно (рис. 2). При этом диагональные элементы матрицы  $S_{ис}$  изменяются от начального значения  $1/n_{cp}$  до конечного  $p_{max}$ . Соответственно, недиагональные элементы  $S_{ис}$  изменяются от начального значения  $1/n_{cp}$  до конечного  $(1 - p_{max})/(n_{cp} - 1)$ . Скачок происходит по прошествии времени  $T_{ис}$ , которое является случайной величиной, зависящей от количества вложенных в развитие системы средств.

<sup>1</sup> Здесь стратегия понимается так, как это принято в теории игр [11], т. е. как вариант поведения, а не в смысле, принятом в теории стратегического управления, т. е. как долгосрочная программа развития.

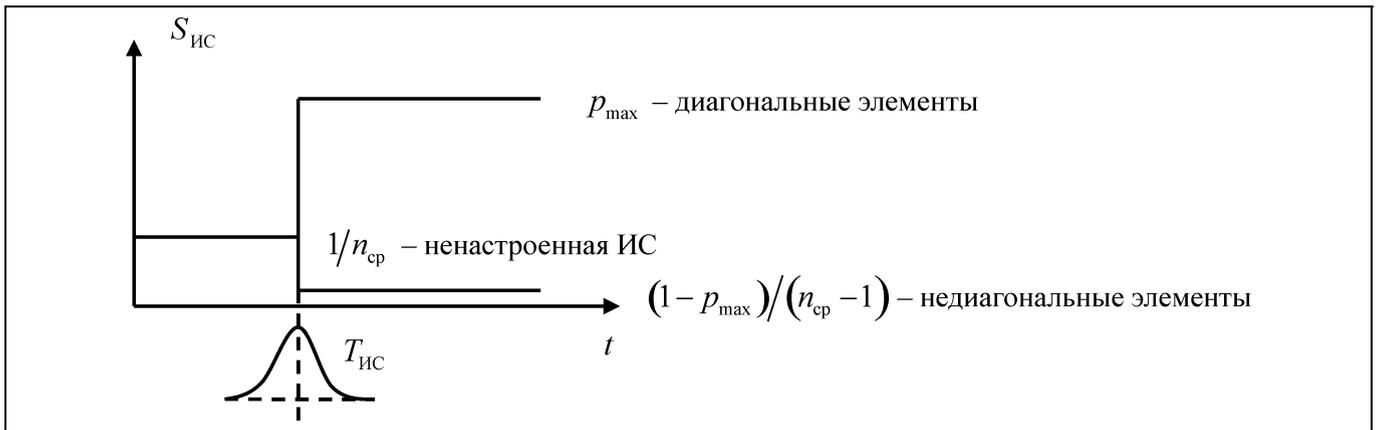


Рис. 2. Процесс обучения ИС

Будем считать, что известна зависимость  $C_{ИС}(p_{\max}, T_{ИС})$  полных издержек на поддержание ИС в единицу времени от ее качества и времени, необходимого на ее разработку. Предположим, что зависимости  $T_{ИС}(C_{ИС})$  и  $p_{\max}(C_{ИС})$  качественно имеют вид, отраженный на рис. 3.

Считаем, что на протяжении каждого периода  $T_{ср}$ , в течение которого переходная матрица  $\Lambda_{ср}$  неизменна (поведение среды качественно не изменяется), издержки  $C_{ИС}$  складываются из постоянной  $FC$  (на создание) и переменной  $VC$  (на поддержание работоспособности) частей:

$$C_{ИС}(p_{\max}, T_{ИС}) = FC(p_{\max}, T_{ИС}) + VC(p_{\max}, T_{ИС})T_{ср}.$$

**Взаимодействие фирмы со средой.** Возможные результаты взаимодействия фирмы с окружающей средой будем характеризовать платежной матрицей  $V_{ср,ф}$  размерностью  $n_{ср} \times n_{ф}$ . Каждый ее элемент  $v_{ik}$  — прибыль (в единицу времени) фирмы, избравшей стратегию поведения  $i$  при состоянии окружающей среды  $k$  (издержки на ИС при вычислении  $v_{ij}$  не учитываются).

В случае если денежные и временные издержки на изменение стратегии отсутствуют (абсолютная

адаптивность), оптимальная в смысле максимизации прибыли стратегия определяется следующим образом:

$$k_1(i) = \arg \max_k v_{ik}. \quad (1)$$

В другом предельном случае, когда издержки на изменение стратегии достаточно велики (нулевая адаптивность), оптимальной становится стационарная стратегия:

$$k_0 = \arg \max_k \sum_i v_{ik} p_i. \quad (2)$$

Введем обозначения:

$$\bar{v}_1 = \bar{\pi}_1 = \sum_i p_i \max_k v_{ik} = \sum_i p_i v_{ik_1(i)},$$

$$\bar{v}_0 = \bar{\pi}_0 = \max_k \sum_i p_i v_{ik} = \sum_i v_{ik_0} p_i. \quad (3)$$

В терминах теории статистических игр разность  $\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_0 = \Delta\pi$  называется *ценой полной информации* в соответствующей игре [8].

В случае конечных издержек на изменение стратегии (в том числе на определение текущего состояния окружающей среды  $i$  и оптимальной для данного состояния стратегии, что и достигается с помощью СППР), оптимальным в смысле максимизации прибыли будет уже более сложное поведение. Очевидно, при прочих равных, всегда должно выполняться соотношение  $\bar{\pi}_0 \leq \bar{\pi} \leq \bar{\pi}_1$ .

**Менеджмент.** Задача менеджмента в *краткосрочном периоде* заключается в том, чтобы по последовательности состояний среды  $i(t)$  формировать оптимальную (в смысле максимизации средней прибыли  $\bar{\pi}$ ) последовательность стратегий фирмы  $k[i(t)]$ . Простейшие случаи такой оптимизации при абсолютной и нулевой адаптивности были рассмотрены ранее (формулы (1), (2)).

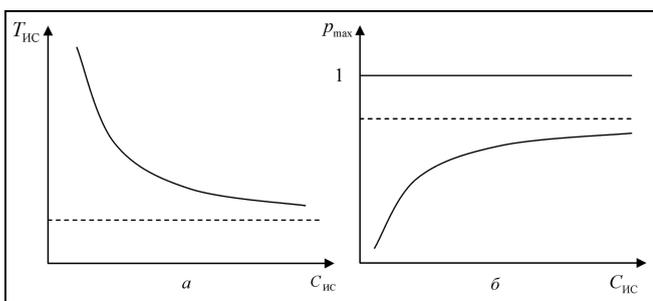


Рис. 3. Качественный вид зависимости ожидаемого времени настройки (а) и показателя качества ИС (б) от затрат на ее создание



В долгосрочном периоде задача менеджмента — выбор оптимального уровня издержек на развитие информационной системы  $C_{ИС}$ .

## 2. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИС И ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ НА ЕЕ СОЗДАНИЕ И ПОДДЕРЖАНИЕ

В отличие от известных работ, посвященных оценке экономической эффективности ИС, здесь под эффективностью (потенциальной) ИС предлагается понимать приращение прибыли  $\bar{\pi} - \bar{\pi}_0$ , получаемое в результате перехода фирмы к адаптивной смене стратегий. Гибкая смена стратегий становится возможной, прежде всего, благодаря ускорению процессов сбора и обработки информации при внедрении СППР. Разумеется, повышение адаптивности требует, кроме внедрения ИС, изменения модели поведения фирмы, модификации алгоритмов принятия решений менеджментом и других системных изменений.

### 2.1. Эффективность идеальной ИС

В общем случае, когда на протяжении промежутка времени  $T_{cp}$  фирма изменяет свою стратегию при каждом изменении состояния среды, бу-

дет получена следующая прибыль:  $\Pi = \sum_{i=1}^{T_{cp}} v_{i(i)k(i)} - \sum_{t=1}^{T_{cp}} c_{k(t-1)k(t)} - C_{ИС}$ . Усреднив последнее выражение по времени и разделив на  $T_{cp}$ , получим среднюю прибыль фирмы в единицу времени:

$$\bar{\pi} = \sum_{i,k} v_{ik} p_i p_{ki} - \sum_{k,l} c_{kl} \eta_{kl} - \frac{C_{ИС}}{T_{cp}} = \bar{v} - \frac{C_{ИС}}{T_{cp}}. \quad (4)$$

Здесь  $p_{ki}$  — вероятность того, что фирма действует в соответствии со стратегией  $k$  при состоянии  $i$  среды,  $\eta_{kl}$  — интенсивность переходов со стратегии  $k$  на стратегию  $l$ . Очевидно, для корректного усреднения, необходимо, чтобы  $T_{cp} \gg \max(T_i, T_k)$ , где  $T_i$  — среднее время, в течение которого сохраняется состояние  $i$  среды,  $T_k$  — среднее время, на протяжении которого фирма придерживается стратегии  $k$ .

**Предельный случай высокой адаптивности.** Рассмотрим ситуацию, когда характерное время, в течение которого сохраняется неизменным состояние среды, существенно больше, чем время, необходимое фирме на смену стратегии:  $T_i \gg T_{kl}$ . Кроме того, издержки на смену стратегии существенно меньше, чем прибыль, получаемая фирмой за время сохранения соответствующего состояния

среды:  $(T_i - T_{kl})v_{ik} \gg C_{kl}$ . Вместе эти условия приводят к тому, что при максимизации прибыли:

- переключения стратегий происходят всегда;
- на каждом промежутке времени оптимальная стратегия избирается независимо.

Последнее, в частности, означает, что каждому изменению состояния среды однозначно соответствует изменение стратегии, причем  $k(i) = k_1(i) = \arg \max_k v_{ik}$  в любой момент времени за исключением промежутков  $T_{kl}$  после каждого изменения состояния среды, необходимых на изменение стратегии. Это позволяет применить подход, предложенный в работе [8], и сформировать матрицы  $C'_{ij}$ ,  $T'_{ij}$  и  $Z_{ij}$  соответственно материальных, временных и полных затрат фирмы, связанных с изменением состояния среды с  $i$  на  $j$ , состоящие из следующих элементов:  $c'_{ij} = c_{k_1(i)k_1(j)}$ ,  $T'_{ij} = T_{k_1(i)k_1(j)}$ ,  $z_{ij} = c'_{ij} + T'_{ij}(v_{jk_1(i)} - v_{jk_1(j)})$ . Предполагается, что на переходном промежутке  $T'_{ij}$  фирма придерживается стратегии, которая была оптимальной в предыдущем состоянии среды. В результате, выражение для средней прибыли в единицу времени упрощается следующим образом:

$$\begin{aligned} \bar{\pi}_3 &= \sum_i v_{ik_1(i)} p_i - \sum_{i,j} c'_{ij} \eta_{ij} - \sum_{i,j} T'_{ij} (v_{jk_1(i)} - \\ &- v_{jk_1(j)}) \eta_{ij} - \frac{C_{ИС}}{T_{cp}} = \sum_i v_{ik_1(i)} p_i - \sum_{i,j} z_{ij} \eta_{ij} - \frac{C_{ИС}}{T_{cp}} = \\ &= \bar{v}_3 - \frac{C_{ИС}}{T_{cp}}. \end{aligned} \quad (5)$$

В этом случае эффективность ИС можно оценить следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta\pi_{ИС} &= \bar{\pi} - \bar{\pi}_0 = (\bar{\pi}_1 - \bar{\pi}_0) + \bar{\pi} - \bar{\pi}_1 = \\ &= \Delta\pi - \sum_{i,j} z_{ij} \eta_{ij} - \frac{C_{ИС}}{T_{cp}}. \end{aligned}$$

За «нулевой» (при отсутствии ИС) уровень принята оптимальная стационарная стратегия, которой соответствует прибыль  $\bar{\pi}_0$ . Это предположение не влияет на решение  $C_{ИС}^*$  задачи оптимизации уровня затрат на СППР  $\frac{d\Delta\pi_{ИС}}{dC_{ИС}} = 0$ , но определяет раз-

мер приращения прибыли  $\Delta\pi_{ИС}(C_{ИС}^*)$  при внедрении СППР. Последнее означает, что выбор «нулевого» уровня может существенно повлиять на принятие решения о целесообразности внедрения ИС при сравнении с альтернативными путями расходования средств.

## 2.1. Эффективность реальной ИС

Обозначим  $p_{ИС}$  вероятность того, что ИС верно идентифицирует состояние среды (параметр качества ИС). Тогда по завершении процесса обучения СППР диагональные элементы матрицы  $S_{ИС}$  (см. § 1) будут равны  $p_{ИС}$ , а недиагональные —  $(1 - p_{ИС})/(n_{ср} - 1)$ .

Неидеальность ИС неизбежно приводит к нарушению условия оптимальности (1), что не позволяет напрямую воспользоваться достигнутыми упрощениями (см. п. 2.1).

Вернемся к исходному выражению для средней прибыли в единицу времени (4)  $\bar{\pi} = \sum_{i,k} v_{ik} p_i p_{ki} - \sum_{k,l} c_{kl} \eta_{kl}$ . Учитывая, что издержки на развитие ИС зависят от качества информационной системы и ожидаемого времени ее настройки:  $C_{ИС} = C_{ИС}(p_{\max}, T_{ИС})$ , вместо величин  $\bar{\pi}$  будем использовать  $\bar{v} = \bar{\pi} - C_{ИС}/T_{ср}$ .

Далее сохраним предположение о высокой адаптивности в том смысле, что переключения стратегий происходят всегда и на каждом промежутке времени стратегия избирается независимо. Откажемся только от условия локальной оптимальности производимого выбора. Будем также считать, что неадекватно избранные стратегии не исправляются (т. е. выбранная фирмой стратегия может изменяться только в результате последующего изменения состояния среды). Как и раньше, наличие промежутка времени, необходимого на смену стратегии, будем учитывать при вычислении полных издержек на смену стратегии.

Заметим, что при выборе стратегии поведения информация об истинном состоянии среды оказывается недоступной, и выбор приходится делать, основываясь на ее «фиктивном» состоянии, определяемом СППР. В соответствии с § 1, фиктивное состояние  $i'$  связано с реальным состоянием  $i$  только вероятностным образом. Отсутствие функциональной связи означает, что «фиктивное» состояние может изменяться, в то время как реальное состояние остается неизменным, и наоборот. В результате, фирма будет вынуждена, исходя из ложной информации, необоснованно изменять стратегию поведения. Статистическая связь между реальным и «фиктивным» состояниями задается матрицей  $S_{ИС}$ , каждый элемент которой  $s_{ij}$  — вероятность того, что СППР идентифицирует истинное состояние среды  $i$  как состояние  $i'$ .

Рассмотрим статистические величины, характеризующие «фиктивное» состояние среды на выходе СППР:  $\lambda'_{ij} = \eta'_{ij}/p'_i$  — элемент фиктивной

переходной матрицы,  $\eta'_{ij} = \sum_{i,j} \eta_{ij} s_{ii} s_{jj}$  — интенсивность переходов между фиктивными состояниями  $i'$  и  $j'$ ,  $p'_i = \sum_i p_i s_{ii}$  — вероятность обнаружить систему в фиктивном состоянии  $i'$ .

Выражение для средней прибыли в единицу времени принимает следующий вид:

$$\bar{v} = \sum_{i,i'} v_{ik_1(i)} p_i s_{ii'} - \sum_{i,j'} c'_{ij'} \eta'_{ij'} - \sum_{i,j,i',j'} T''_{ij'} (v_{jk_1(j)} - v_{jk_1(i)}) \eta_{ij} s_{ii'} s_{jj'} \quad (6)$$

Здесь  $T''_{ij'}$  — ожидаемое время, в течение которого фирма будет переходить на новую стратегию в результате изменения фиктивного состояния среды с  $i'$  на  $j'$ . Оно определяется по формуле

$$T''_{ij'} = \sum_{T_j=0}^{T'_{ij'}} T_j (\lambda'_{jj'})^{T_j-1} (1 - \lambda'_{jj'}) + T'_{ij'} \sum_{T_j=T'_{ij'}+1}^{\infty} (\lambda'_{jj'})^{T_j-1} (1 - \lambda'_{jj'}) = \frac{1 - (\lambda'_{jj'})^{T'_{ij'}}}{1 - \lambda'_{jj'}}$$

где  $T_j$  — случайная величина, представляющая собой время, в течение которого сохраняется фиктивное состояние среды  $j'$ ,  $T'_{ij'}$  — матрица временных затрат фирмы, связанных с изменением состояния среды с  $i'$  на  $j'$ . Когда  $T_j \leq T'_{ij'}$ , имеем  $T''_{ij'} = T_j$ . В противном случае, когда  $T_j > T'_{ij'}$ , выполняется  $T''_{ij'} = T'_{ij'}$ .

В выражении (6), кроме предположения о высокой адаптивности  $T_i \gg T_{kl}$  (реальное состояние среды не меняется на протяжении промежутка времени  $T_{kl}$ ), предполагается также, что  $j' \neq i' \Rightarrow k_1(j') \neq k_1(i')$  (при изменении фиктивного состояния среды всегда меняется и стратегия поведения фирмы). Таким образом, приведенное выражение остается в значительной степени приближенным.

В предельном случае высокой адаптивности фирмы в фиктивной среде ( $\bar{T}_j \gg T'_{ij'}$ ) выполняется  $T''_{ij'} = T'_{ij'}$ , и можно показать, что  $\bar{v}$  является квадратичной (близкой к линейной) функцией от показателя качества ИС  $p_{ИС}$ , однако для неразвитых (необученных) ИС при ненулевой матрице  $T'_{ij'}$  этот предельный случай никогда не реализуется. Это объясняется тем, что использование необученной СППР приводит к большому числу необоснованных изменений стратегии поведения:



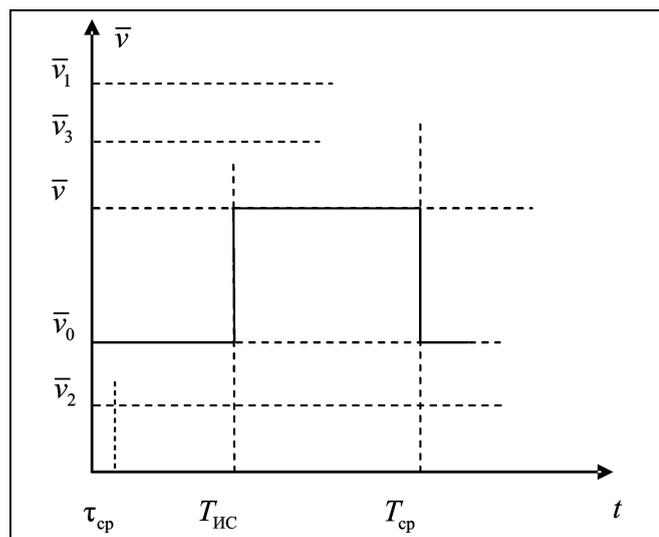
$p_{ИС} \rightarrow 1/n_{cp} \Rightarrow \lambda'_{ij'} \rightarrow 1/n_{cp} \Rightarrow \bar{T}_{j'} \rightarrow n_{cp}/(n_{cp} - 1) \gg T'_{ij'}$ , в то время как для высокой адаптивности необходимо  $\bar{T}_{j'} \gg T'_{ij'}$ . Далее предположение о линейной зависимости  $\bar{v}(p_{ИС})$  будет введено искусственно, что оказывается, как будет показано, вполне оправданным.

**Частный случай «необученной» ИС.** Подставим в выражение для средней прибыли в единицу времени (6)  $p_{ИС} = 1/n_{cp}$ . Тогда  $s_{ii'} = 1/n_{cp}$ ,  $\eta'_{ij'} = 1/n_{cp}^2$ ,  $p'_{i'} = 1/n_{cp}$ ,  $\lambda'_{ij'} = 1/n_{cp}$ ,  $T''_{ij'} \sim 1$ ,

$$\begin{aligned} & \frac{1}{n_{cp}^2} \frac{1}{n_{cp}} \sum_{i,j,i',j'} (v_{jk_1(j')} - v_{jk_1(i)}) \eta_{ij} = \\ & = \frac{1}{n_{cp}} \frac{1}{n_{cp}} \left( \sum_{i,j,j'} v_{jk_1(j')} \eta_{ij} - \sum_{i,j,i'} v_{jk_1(i)} \eta_{ij} \right) = 0, \\ & \bar{v}_2 = \frac{1}{n_{cp}} \sum_{i,i'} v_{ik_1(i)} p_i - \frac{1}{n_{cp}} \sum_{i',j'} c'_{ij'}. \end{aligned} \quad (7)$$

**Линейное приближение зависимости  $\bar{v}(p_{ИС})$ .** Используя найденные ранее граничные значения  $\bar{v}(1/n_{cp}) = \bar{v}_2$ ,  $\bar{v}(1) = \bar{v}_3$ , выполним линейную интерполяцию искомой зависимости:

$$\bar{v}(p_{ИС}) = \bar{v}_2 + \frac{\bar{v}_3 - \bar{v}_2}{1 - 1/n_{cp}} (p_{ИС} - 1/n_{cp}). \quad (8)$$



**Рис. 4. Эффективность ИС в долгосрочном периоде:**  $\bar{v}_1$  — идеальная адаптивность;  $\bar{v}_3$  — идеальная ИС;  $\bar{v}$  — неидеальная ИС;  $\bar{v}_0$  — стационарная стратегия;  $\bar{v}_2$  — «необученная» ИС

### 2.3. Эффективность ИС в долгосрочном периоде

Как видно из рис. 4, при усреднении в долгосрочном периоде в выражение для эффективности ИС нужно вводить поправку на то, что СППР не может применяться на всех промежутках времени:

$$\Delta\pi_{ИС} = (\bar{v} - \bar{v}_0)(T_{cp} - T_{СИ})/T_{cp} - C_{ИС}/T_{cp}. \quad (9)$$

### 2.4. Оптимизация качества и стоимости ИС

Выразив в явном виде зависимость эффективности ИС от показателей ее качества, можно ставить задачу поиска оптимальных (в смысле максимизации прибыли) значений как самих этих показателей, так и издержек, связанных с их достижением:

$$\begin{aligned} \Delta\pi_{ИС} &= \Delta\pi_{ИС}(p_{max}, T_{ИС}, C_{ИС}(p_{max}, T_{ИС})); \\ \frac{d\Delta\pi_{ИС}}{dp_{max}} &= 0, \quad \frac{d\Delta\pi_{ИС}}{dT_{ИС}} = 0 \Rightarrow p_{max}^*, \\ T_{ИС}^* &\Rightarrow FC_{ИС}^*, VC_{ИС}^*. \end{aligned} \quad (10)$$

## 3. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Для демонстрации предложенного подхода к оценке эффективности ИС и оптимизации ее параметров и стоимости возьмем за основу упрощенный пример, приведенный в работе [8]. Оценим эффективность системы централизованного учета числа проданных авиабилетов как средства оптимизации динамического выбора используемых авиакомпанией воздушных судов. В условиях постоянно изменяющегося спроса на пассажирские авиаперевозки, в том числе на отдельных авиалиниях, у авиакомпаний существует возможность маневра парком воздушных судов, т. е. их перестановки с одной авиалинии на другую, поскольку для каждой конкретной авиалинии, при заданном пассажиропотоке, будет оптимальным использование определенного типа воздушных судов. Для проведения такой политики, очевидно, необходима своевременная информация о числе проданных авиабилетов на каждый конкретный рейс, которая может быть получена лишь при наличии соответствующей информационной системы. Реальным примером такой системы можно считать успешно функционирующую до настоящего времени систему резервирования авиабилетов «Сирена», разработана которой была начата в середине 1960-х гг. в ИПУ РАН под руководством В.А. Жожикашвили [12].

Предположим, что единственным параметром, характеризующим состояние окружающей среды, служит пассажиропоток на данной авиалинии, который может изменяться от 125 до 325 пассажиров за рейс. Этот параметр может изменяться по многим причинам (сезонные колебания, уровень доходов населения, ценовая и маркетинговая политика данной авиакомпании и ее конкурентов, случайные флуктуации). Разделим диапазон изменения пассажиропотока на четыре интервала с границами 125—174, 175—224, 225—274, 275—325 пассажиров за рейс.

Пусть интенсивность изменений пассажиропотока на данной авиалинии описывается переходной матрицей

$$\Lambda_{cp} = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,2 & 0,25 & 0,05 \\ 0,15 & 0,5 & 0,25 & 0,1 \\ 0,1 & 0,5 & 0,3 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,6 & 0,2 \end{pmatrix}.$$

Ее элементы  $\lambda_{ij}$  оцениваются как частоты переходов пассажиропотока из диапазона  $i$  в диапазон  $j$  в единицу времени, в качестве которой здесь выступает интервал между рейсами.

Предположим, что продолжительность жизненного цикла системы централизованного учета числа проданных авиабилетов в среднем составляет 10 лет ( $T_{cp} = 8000$  рейсов). Такое ограничение может быть обусловлено:

- моральным устареванием используемых информационных технологий (в качестве возможных причин можно привести расширение сети кассовых терминалов, изменение принятых стандартов обслуживания пассажиров, обновление материально-технической базы и программного обеспечения);

- корректировкой требований к информационной системе (вследствие качественного изменения переходной матрицы  $\Lambda_{cp}$ , вызванного, например, модернизацией парка воздушных судов или изменением географии полетов).

Стратегией авиакомпании в данном примере служит выбор подходящих типов воздушных судов для обслуживания авиалинии. Предположим, что на данном маршруте авиакомпания может эксплуатировать воздушные суда трех типов, которые различаются максимальной пассажироместимостью, составляющей соответственно 200, 250 и 350 мест. Пусть платежная матрица  $V_{cp,\phi}$ , а также матрицы материальных  $C_\phi$  и временных  $T_\phi$  затрат на смену стратегии имеют следующий вид:

$$V_{cp,\phi} = \begin{pmatrix} 8\,000 & 4\,000 & 0 \\ 9\,000 & 10\,000 & 7\,000 \\ 9\,000 & 12\,000 & 14\,000 \\ 9\,000 & 12\,000 & 16\,000 \end{pmatrix},$$

$$C_\phi = \begin{pmatrix} 0 & 1\,500 & 2\,200 \\ 1\,000 & 0 & 2\,200 \\ 1\,200 & 1\,700 & 0 \end{pmatrix}, \quad T_\phi = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Элементы платежной матрицы  $v_{ik}$  определяются как ожидаемая прибыль (в условных единицах) за рейс в случае выбора воздушного судна типа  $k$  при значении пассажиропотока в диапазоне  $i$ . Элементы матрицы материальных затрат  $c_{kl}$  задают стоимость (в усл. ед.) замены типа воздушного судна, используемого в данном рейсе. Значения  $T_{kl}$  определяют время, необходимое для выполнения такой замены (здесь считается, что при наличии своевременной информации замена воздушного судна укладывается в интервал между рейсами, и задержек не происходит).

Дополнительно зададим модельную параметрическую зависимость достижимых параметров ИС от стоимости ее жизненного цикла:

$$C_{ИС}(p_{max}, T_{ИС}) = k \left( \frac{1\,500}{T_{ИС}} + \frac{0,02}{1-p_{max}} \right).$$

Здесь  $k$  (в усл. ед.) имеет смысл характерных издержек на ИС в единицу времени в расчете на одно воздушное судно.

По формулам (3), (7) и (5) находим:  $\bar{v}_0 = 9600$ ,  $\bar{v}_2 = 7856$ ,  $\bar{v}_3 = 10\,548$ . В рамках разработанной модели можно считать, что эти числа содержат всю необходимую информацию об исходных матрицах  $\Lambda_{cp}$ ,  $V_{cp,\phi}$ ,  $C_\phi$  и  $T_\phi$  для оценки эффективности ИС. Точность линейного приближения хорошо подтверждается результатами имитационного моделирования (рис. 5).

Далее из выражений (8) и (9) получим зависимость эффективности ИС в долгосрочном периоде от параметров качества информационной системы  $\Delta\pi_{ИС} = \Delta\pi_{ИС}(p_{max}, T_{ИС}, k)$ , представленную на рис. 6.

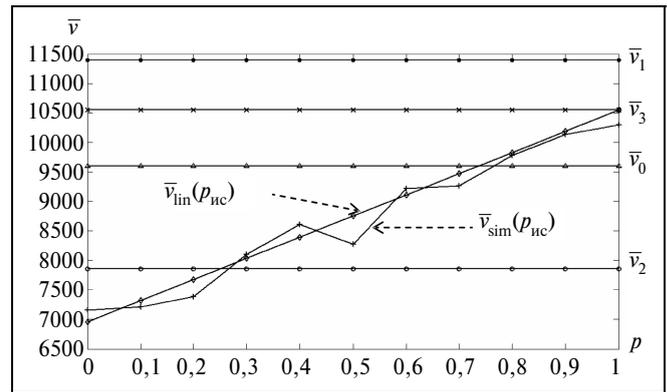


Рис. 5. Зависимость средней прибыли авиакомпании за один рейс (в краткосрочной перспективе, без учета издержек на ИС) от показателя качества ИС:

$\bar{v}_{lin}$  — линейное приближение,  $\bar{v}_{sim}$  — результат статического моделирования; каждая точка графика получена усреднением по 100 рейсам

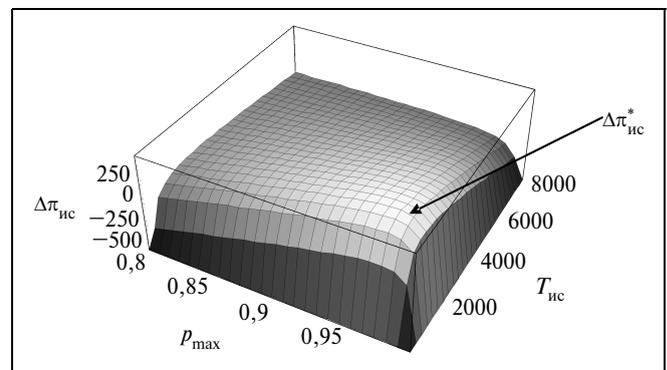


Рис. 6. Зависимость эффективности ИС в долгосрочном периоде от параметров качества информационной системы

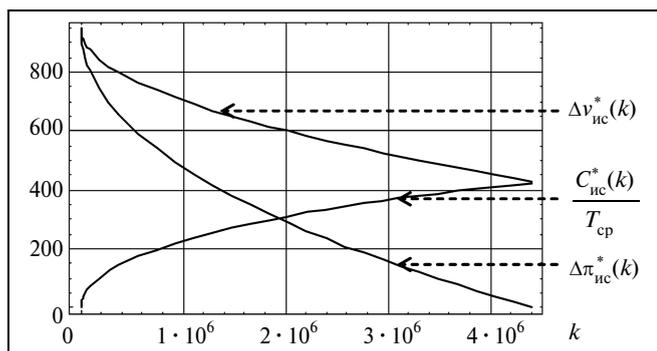


Рис. 7. Зависимость максимально достижимой прибыли авиакомпании и стоимости поддержания ИС от параметра  $k$  стоимости жизненного цикла ИС

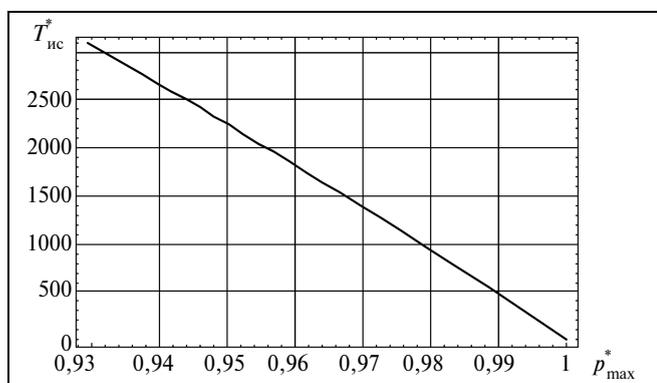


Рис. 8. Зависимость оптимального времени разработки ИС от оптимального уровня ее качества

Решение задачи оптимизации (10) дает зависимости прироста прибыли  $\Delta v_{ис}^*(k)$  и издержек  $C'_{ис}(k)$  авиакомпании и их разности  $\Delta \pi_{ис}^*$  от стоимости жизненного цикла ИС, показанные на рис. 7.

Наконец, на рис. 8 приведена зависимость  $T_{ис}^*(p_{max}^*)$  оптимальных значений проектных параметров ИС друг от друга, полученную в результате максимизации интегрального показателя эффективности ИС — прироста прибыли авиакомпании  $\Delta \pi_{ис}^*$ .

Характер этой зависимости обусловлен тем, что при увеличении параметра  $k$  (т. е. при удорожании ИС) становится нецелесообразным, в смысле максимизации прибыли, выбирать ИС с прежними значениями показателя качества  $p_{max}$  и времени разработки  $T_{ис}$ . Оптимальными будут варианты с большим временем разработки  $T_{ис}$  и меньшей вероятностью верной идентификации состояния среды  $p_{max}$ , т. е. увеличение параметра  $k$  в пределах, отображенных на рис. 7, соответствует движению влево и вверх по кривой, изображенной на рис. 8.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной фактор, определяющий экономическую эффективность систем поддержки принятия

решений, состоит в возможности кардинального повышения адаптивности фирмы в нестабильной среде. Наличие информационных систем позволяет фирме гибко менять стратегию поведения при изменениях состояния рыночного окружения фирмы, получая прирост прибыли.

В качестве показателя качества системы поддержки принятия решений целесообразно принять вероятность того, что система верно идентифицирует состояние среды и указывает оптимальную в данном состоянии стратегию фирмы. Зависимость максимально достижимого благодаря внедрению СППР прироста прибыли фирмы от показателя качества ИС приближенно можно считать линейной.

Разработанный подход к оценке эффективности и оптимизации параметров информационных систем может применяться как при определении целесообразности внедрения СППР, так и для оценки оптимального соотношения ее цены и качества.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ключков В.В. CALS-технологии в авиационной промышленности: организационно-экономические аспекты. — М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. — 124 с.
2. Друкер, Питер Ф. Эффективный руководитель. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2008. — 224 с.
3. Калянов Г.Н. Консалтинг при автоматизации предприятий. — М.: СИНТЕГ, 1997. — 316 с.
4. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука. — М.: Мир, 1978. — 419 с.
5. Дьяконов В.П. MATLAB 6/5 SP1/7 + Simulink 5/6®. Основы применения / Сер. «Библиотека профессионала». — М.: СОЛОН-Пресс, 2005. — 800 с.
6. Дьяконов В. Mathematica 4: учебный курс — СПб: Питер, 2001. — 656 с.
7. Арнольд В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. — М.: МЦНМО, 2000. — 32 с.
8. Ключков В.В., Сазонов Д.И. Методы анализа адаптивности производственных программ и организационных структур предприятий (на примере воздушного транспорта и авиационного строительства) // Экономика и математические методы. — 2007. Т. 43, № 2. — С. 44—56.
9. История экономических учений: Учеб. пособие / Под ред. В. Автономова и др. — М.: Инфра-М, 2007. — 784 с.
10. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. — М.: Сов. радио, 1977. — 488 с.
11. Стронгин Р.Г. Исследование операций. Модели экономического поведения. Учебник. — М.: Интернет-Ун-т информ. технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. — 207 с.
12. Аврин С. Жизнь «Сирены»: вчера и сегодня // Открытые системы 18.10.2001г., URL: <http://www.osp.ru/cw/2001/38/44898/> (дата обращения: 12.07.2009).

Статья представлена к публикации руководителем РРС В.Г. Заскановым.

**Ключков Владислав Валерьевич** — д-р экон. наук, вед. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎(495) 334-79-00, ✉vlad\_klochkov@mail.ru.

**Коломеец Александр Александрович** — аспирант, Московский физико-технический институт (государственный университет), ✉alexk\_1985@hotmail.com.