УДК 65.012

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Н. В. Лисицын, В. К. Викторов

ООО «Наука, технология, информатика, контроль», г. Санкт-Петербург

Рассмотрена задача определения интервала времени, по истечении которого существующая информационная система в силу выработки своих ресурсов должна быть заменена на новую. Предложен алгоритм ее решения, основанный на принципе оптимальности Беллмана. Приведены примеры.

Сегодня любое промышленное предприятие не обходится без информационных систем (ИС), предназначенных для сбора и обработки технологической, экономической, транспортной, материально-технической и другого рода информации и обеспечения быстрого доступа к ней. Благодаря ИС предприятия получают дополнительный доход [1]. Обозначим этот доход $d(n, t)$, где n — номер момента времени начала функционирования ИС, t — «возраст» ИС. Отметим, что n, t могут принимать значения из натурального ряда чисел (n, $t = 1, 2, ..., N$). Время может измеряться числом определенных промежутков времени — месяцев, лет и др. Очевидны следующие свойства функции $d(n, t)$. Она возрастает по n по мере появления со временем все более совершенных ИС и убывает по t в результате морального и физического их старения. Более совершенные ИС стоят дороже, поэтому функция стоимости ИС $c(n)$ монотонно возрастающая. Что касается конкретного вида функций $d(n, t)$ и $c(n)$, то они могут быть получены в результате статистической обработки экспериментальных данных и представлены в виде матриц (см. Пример).

Возникает задача определения времени, когда следует внедрить новую ИС взамен старой, чтобы получить максимальный доход от их применения.

Процесс принятия решения о замене ИС является многошаговым марковским процессом, для решения указанной задачи может быть применен принцип оптимальности Беллмана [2]. Обозначим $f(n, t)$ — максимальный суммарный доход от работы ИС возраста t за время $N - n + 1$, начиная с момента времени n и до фиксированного срока N окончания работы ИС. Составим следующие рекуррентные функциональные уравнения:

$$f(n, t) = \max\begin{Bmatrix} d(n, 0) - c(n) + f(n+1, 1) \\ d(n-t, t) + f(n+1, t+1) \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

$$n, t = 1, ..., N,$$

$$f(N+1, *) = 0. \quad (2)$$

На каждом из N шагов может быть принято два решения: внедрить новую ИС — верхняя строка в уравнении (1), сохранить старую ИС — нижняя строка. На каждом шаге выбирается максимальное из двух строк. В обеих строках первые слагаемые — это доход от ИС на n-м шаге, а последующие слагаемые — это доход от работы ИС на последующих $N - n$ шагах: $n + 1, ..., N$. Условие (2) означает, что за пределами времени N ИС перестает работать (можно сказать, что N — это срок службы ИС) и доход от нее равен нулю.

Алгоритм решения задачи на основе уравнений (1) может быть построен следующим образом. Вначале при $n = N$ рассчитывается величина

$$f(N, t) = \max\begin{Bmatrix} d(N, 0) - c(N) \\ d(N-t, t) \end{Bmatrix}, \quad (3)$$

$$t = 1, ..., N.$$

так как $f(N + 1, t) = 0$ и $f(N + 1, t + 1) = 0$.

Затем рассчитывается величина

$$f(N-1, t) = \max\begin{Bmatrix} d(N-1, 0) - c(N-1) + f(N, 1) \\ d(N-1-t, t) + f(N, t+1) \end{Bmatrix}, \quad (4)$$

$$t = 1, ..., N-1$$

и так далее:

$$f(N-i, t) = \max\begin{Bmatrix} d(N-i, 0) - c(N-i) + f(N-i+1, 1) \\ d(N-i-t, t) + f(N-i+1, t+1) \end{Bmatrix},$$

$$i = 2, ..., N-1;\ t = 1, ..., N-i. \quad (5)$$

При $i = N - 1$ получается значение $f(1, 1)$ — максимальный доход от использования старой и новой ИС при оптимальной стратегии замены систем. В процессе работы алгоритма (3)—(5) определяется и время замены ИС.

Пример. Проиллюстрируем работу алгоритма. Пусть матрица $D = \{d\ (n,\ t)\}$ задана следующим образом ($N = 5$):

n	t					
	0	1	2	3	4	5
0	—	60	45	33	23	15
1	65	50	40	32	26	22
2	73	60	50	42	38	—
3	80	70	63	60	—	—
4	84	76	70	—	—	—
5	85	80	—	—	—	—

(6)

В матрице отражены упомянутые свойства функции $d(n, t)$: числа растут по строкам и убывают по столбцам.

Задана также таблица значений функции стоимости $c(n)$:

n	1	2	3	4	5
c	100	110	118	124	126

(7)

В результате применения алгоритма (3)—(5) к задаче (6), (7) получается решение для $\{f(n, t)\} = F$ в виде матрицы F:

n	t				
	1	2	3	4	5
1	200	—	—	—	—
2	148	140	—	—	—
3	152	98	95	—	—
4	133	92	58	38	—
5	76	63	42	26	15

(8)

В матрице (8) кружком отмечен момент времени *3* — момент замены ИС. Таким образом, оптимальная стратегия состоит в том, что первые два отрезка времени работает старая ИС, в начале третьего отрезка времени внедряется новая система и она работает 3-, 4- и 5-й отрезки времени. Доход от такой стратегии складывается следующим образом:

$$f(1, 1) = d(0, 1) + d(0, 2) + d(3, 0) - c(3) + d(3, 1) + d(3, 2) = = 60 + 45 + 80 - 118 + 70 + 63 = 200.$$

Если бы работала старая ИС — первая строка матрицы (6), тогда суммарный доход был бы:

$$\sum_{i=1}^{5} d(0, i) = 60 + 45 + 33 + 23 + 15 = 176.$$

Отсюда следует вывод о том, что на третьем отрезке времени ИС необходимо заменить на новую. ♦

С помощью компьютерной программы, реализующей алгоритм (3)—(5), можно решить, кроме основной задачи определения времени t_c замены ИС, и ряд других технико-экономических задач.

В качестве примера рассмотрим задачу определения политики замены ИС в зависимости от экономической конъюнктуры — от колебаний стоимости новых ИС.

Для удобства предположим, что доход от применения ИС задан не в виде матрицы (6), а в виде функции $d(n, t) = 70 + 5n - 10t$, а $c(n)$ задается в виде таблицы.

В последних двух столбцах таблицы приведены решения исходной задачи определения момента t_c и максимальный доход $f(1, 1)$, полученные по алгоритму (3)—(5).

Колебаниям подвержена цена ИС, разработанной на 2- и 3-м отрезках времени. Из сравнения первой и второй строк таблицы следует, что цена 105 является критической: достаточно ей вырасти на 1 до 106, как меняется решение о времени замены t_c со 2-го отрезка времени на 3-й.

Если же падает цена $c(3)$ с 120 до 115, то даже при $c(2) = 105$ замена на $t_c = 2$ — невыгодна, а максимальный доход достигается при $t_c = 3$.

Слагаемые суммарного дохода для трех вариантов из таблицы:

1-й вариант: $d(0, 1) + d(2, 0) - c(2) + d(2, 1) + d(2, 2) + d(2, 3) = 215$;

Стоимость ИС $c(n)$

№ варианта	n						
	1	2	3	4	5	t_c	$f(1, 1)$
1	90	105	120	130	137	2	215
2	90	106	120	130	137	3	215
3	90	105	115	130	137	3	220

2-й вариант: $d(0, 1) + d(0, 2) + d(3, 0) - c(3) + d(3, 1) + d(3, 2) = 215$;

3-й вариант: $d(0, 1) + d(0, 2) + d(3, 0) - c(3) + d(3, 1) + d(3, 2) = 220$.

Подобного рода результаты могут быть получены предлагаемым методом и при других рыночных вариациях в стоимостях ИС $c(n)$ и в доходах от их применения $d(n, t)$.

В работе [3] предложен метод оценки экономической эффективности применения ИС. Его идея состоит в том, что реальный выигрыш от применения ИС заключается в более точном прогнозировании прибыли предприятия по переработки нефти. Идеальная ИС дает безошибочный прогноз. Можно ввести коэффициент ошибки прогноза K. Для идеальной системы $K = 1$. Чем система хуже, тем меньше K. Прогноз прибыли предлагается вычислять следующим образом: $d = 360KpP$, где d — прибыль в год, млн долл./г.; p — средняя прибыль от переработки одного барреля, долл./баррель; P — производительность предприятия по сырой нефти, млн баррелей/сут.; $K \in [0, 1]$.

Предположим, что коэффициент ошибки прогноза уменьшается при увеличении n и t следующим образом: $K(t, n) = K_0 + K_1t - K_2n$.

Годовая прибыль, таким образом, будет измеряться как

$$d(n, t) = 360K(n, t)pP = K(n, t)R.$$

Для конкретных значений $K_0 = 0{,}85$, $K_1 = 0{,}01$, $K_2 = 0{,}03$, $p = 2$ долл./баррель, $P = 0{,}1$ млн баррелей/сут., $R = 72$ долл./год и для $c(n) = (20 + n)$ млн долл. была поставлена задача: определить, насколько должна снизиться стоимость $c(4)$ ИС в результате технической революции на четвертом интервале времени, чтобы было выгодно произвести замену информационной системы на 4-м интервале, а не на 3-м, как следует из решения задачи для $c(4) = 24$.

С помощью упомянутой компьютерной программы удалось получить значение $c(4) = 19{,}1$, удовлетворяющее условиям задачи. Решение без замены: $t_c = 0$, $d = 273{,}6$ млн долл./год; решение при $c(4) = 24$: $t_c = 3$, $d = 277{,}52$ млн долл./год, решение при $c(4) = 19{,}1$: $t_c = 4$, $d = 277{,}54$ млн долл./год. Выигрыши составляют 3,94 млн долл./год и 0,02 млн долл./год, соответственно.

Предложенный подход к исследованию эффективности информационных систем отличается от традиционных, основанных на анализе их функций, и может быть полезен для оценки работоспособности крупных автоматизированных комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Садчиков И. А., Сомов В. Е.* Киришинефтеоргсинтез — от ПО к... ПО. — СПб.: Химия, — 1997. — 271 с.
2. *Беллман Р., Дрейфус С.* Прикладные задачи динамического программирования. — М.: Наука, — 1965. — 475 с.
3. *Уайт Д. К.* Определение истинных экономических преимуществ современной информационной системы на крупном НПЗ // Нефтегазовые технологии. — 2005. — № 5. — С. 73—76.

☎ *(812) 550-40-79*

e-mail: lisitsyn@ntic.24 ❑