

## ОПТИМИЗАЦИЯ СРОКОВ ЗАМЕНЫ ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

The article is devoted to problems of the optimization of the term of the equipment. The task solve with help of the network model of the optimization.

**Введение.** Одной из важнейших задач повышения эффективности полиграфического производства является своевременная замена изношенного устаревшего технологического оборудования на новое. Существует задача оптимизации сроков замены оборудования [1] по критерию получения максимума прибыли. Однако в этой задаче предусматривается замена действующего оборудования на новое оборудование точно того же типа. Такая задача представляет в основном теоретический интерес, так как в реальных задачах, решаемых в полиграфическом производстве, обычно производится замена устаревшего оборудования на такое, которое более производительное и имеет лучшие технологические характеристики.

В данной работе рассматривается, когда устаревшее оборудование заменяется новым, более производительным оборудованием. Такая постановка соответствует реальным задачам реконструкции полиграфических производств.

**Постановка задачи.** Предлагаемый метод решения задачи оптимизации сроков замены оборудования рассматривается на таком конкретном примере.

Пусть на предприятии эксплуатируется оборудование (например, печатная машина) в возрасте 3 года. Требуется составить прогноз: когда экономически выгодно заменить его новым, более производительным оборудованием, чтобы получить максимальную прибыль в течение следующих четырех лет.

Известны фактические и прогнозируемые данные о характеристиках действующего старого оборудования в зависимости от его возраста. Фактические и прогнозируемые данные приведены в табл. 1 (в тыс. у. е.).

Таблица 1

Возраст $t$ , лет	Доход $r(t)$ ,	Стоимость обслуживания, $c(t)$	Остаточная стоимость, $s(t)$
0	160,0	5,0	—
1	150,0	10,0	90,0
2	140,0	15,0	80,0
3	130,0	20,0	70,0
4	120,0	25,0	60,0
5	110,0	30,0	50,0
6	100,0	25,0	40,0

Критерий оптимизации — максимум прибыли. Выбывающее оборудование продается по остаточной стоимости, величина которой включается в прибыль.

Выбраны характеристики одного из типов нового оборудования, которым можно заменить действующее оборудование. Характеристики этого нового оборудования определены, исходя из наличия средств инвестиции, заданных первоначально в объеме 400 тыс. у. е. Характеристики по годам эксплуатации выбранного нового оборудования приводятся в табл. 2.

Кроме того, предусматривается, что если старое оборудование остается в эксплуатации без замены один или большее число лет, то 50% прибыли, полученной за эти годы, будут дополнительно направлены на инвестиции по приобретению нового оборудования. Тогда сумма инвестиций увеличится, за счет чего приобретается более мощное новое оборудование. Характеристики этих более мощных типов нового оборудования будут «лучшими» по сравнению с числами, приведенными в табл. 2, соответственно увеличению суммы инвестиции за все годы прогнозирования.

Принимается, что если некоторое число лет, начиная с года, когда возраст старого оборудования три года, продолжается его эксплуатация, то общая сумма инвестиций увеличивается на величину 50% от прибыли, получаемой каждый год от эксплуатации этого оборудования.

Как видно из таблицы, при увеличении возраста оборудования доход от его эксплуатации снижается, стоимость обслуживания увеличивается, остаточная стоимость уменьшается.

Таблица 2

Возраст $t$ , лет	Доход $r(t)$ ,	Стоимость обслуживания $c(t)$
0	320,0	10,0
1	300,0	20,0
2	280,0	35,0
3	260,0	40,0
4	240,0	50,0
5	220,0	60,0
6	200,0	50,0

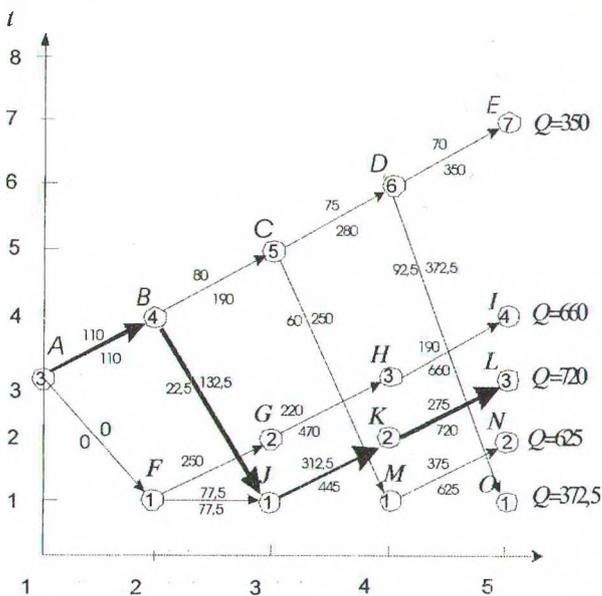
Критерий оптимизации формулируется следующим образом: необходимо определить таковой год замены действующего оборудования на новое более производительное оборудование, при котором в течение заданного периода времени (в примере четыре года) получается максимум прибыли.

**Решение задачи.** Для решения задачи применяется метод сетевого выбора оптимального маршрута [2]. Применяемый метод оптимизации основан на построении модели задачи в виде сети, включающей множество возможных вариантов сроков замены, состоящих из элементарных участков состояния оборудования. Совокупность этих участков образует некоторый маршрут. Оптимальным считается такой маршрут, при котором достигается максимум прибыли на заданном интервале времени прогнозирования.

В данной задаче под элементарным участком понимается работа полиграфического оборудования в течение года эксплуатации, для которого известны экономические показатели.

Многошаговое решение таких сложных задач представляется графически в виде сетевой модели. Сетевая модель оптимизации представляется в виде графика, приведенного на рисунке.

Сеть определяется как некоторое множество точек (узлов), связанных стрелками, называемых дугами. Движение по дугам допускается только в одном направлении по стрелкам. По оси абсцисс откладывается год принятия решения о замене или отказе от замены в данном году. По оси ординат откладывается возраст оборудования, действующего в данном году при определенном варианте замены.



Рисунок

Сетевая модель отражает маршруты пошагового решения задачи.

Две исходящие из узла стрелки — это два возможных варианта решения: продолжить эксплуатацию (стрелка вверх-вправо) или заменить оборудование (стрелка вниз-вправо). Стрелка на входе узла — это отрезок пути перехода к данному узлу.

В начальный момент имеет место ситуация, соответствующая точке A, когда действует старое оборудование в возрасте 3 лет и рассматривается решение о необходимости его замены. Если будет принято решение о продолжении его эксплуатации, то к концу первого года анализа (точка B) старое оборудование будет иметь возраст 4 года. Прибыль за один год эксплуатации  $t$ -летнего старого оборудования определяется по формуле

$$g_C(t) = r(t) - c(t), \quad (1)$$

где  $r(t)$  и  $c(t)$  — доход и затраты на эксплуатацию старого оборудования в возрасте  $t$  лет. Величины  $r(t)$  и  $c(t)$  берутся из табл. 1.

Если и в последующие годы оборудование не заменяется, то прибыль от его работы определяется и далее по формуле (1). Маршрут переходов пройдет через узлы A, B, C, D и E сетевой модели. Для этого варианта работы оборудования, как показано в сетевой модели (числа, указанные ниже соответствующих стрелок), прибыль в узлах равна: в узле B — 110, в узле C — 190 и т. д.

Общая накопленная прибыль (в узле E) будет равной  $Q = 350$  тыс. у. е. (верхняя ветвь сетевой модели).

Рассмотрим теперь ситуацию, когда в первый год анализа (в узле A) принимается решение о замене оборудования. Тогда прибыль от работы нового оборудования в первый год определяется по формуле

$$g_Z(t) = r1(0) + s(t) - c1(0) - S, \quad (2)$$

где  $t = 1$  — возраст нового оборудования в конце года его установки;

$r1(0)$  и  $c1(0)$  — доход и затраты на эксплуатацию нового оборудования в начале первого года его эксплуатации (пуско-наладочные работы в модели не учитываются). Величины  $r1(0)$  и  $c1(0)$  берутся из табл. 2;

$S$  — стоимость нового оборудования, для которого приводятся данные в табл. 2. Эти данные относятся к новому оборудованию, соответствующему начальной сумме инвестиций;

$s(t)$  — остаточная стоимость старого оборудования в возрасте  $t = 3$  г. По этой стоимости продается трехлетнее оборудование.

Если новое оборудование в дальнейшем не заменяется, то прибыль от его работы в последующие годы определяется по формуле

$$g_C(t) = r1(t) - c1(t), \quad (3)$$

где  $t > 1$  — возраст нового оборудования.

Для рассмотренного варианта замены маршрут переходов пройдет через точки  $A, F, G, H$  и  $I$  сетевой модели. Общая накопленная прибыль будет равной  $Q = 660$ .

На втором шаге рассматривается решение задачи о замене в точке  $B$ , когда возраст старого оборудования равен 4 г. Вариант принятия решения о продолжении эксплуатации уже рассмотрен выше. Вариант о замене старого оборудования новым оборудованием решается при условии, что 50% прибыли, полученной на предыдущем шаге работы старого оборудования (в точке  $B$ ), добавляется к начальной сумме инвестиции, равной 400 тыс. у. е. Поэтому решается задача о замене новым оборудованием, имеющим некоторые характеристики, которые обозначим через  $r2(0)$  и  $c2(0)$ . В этом случае будем определять прибыль между узлами  $B$  и  $J$  по формуле

$$g_Z(t) = r2(0) + s(t) - c2(0) - S, \quad (2)$$

где  $r2(0)$  и  $c2(0)$  — доход и затраты на эксплуатацию нового оборудования в начале первого года его эксплуатации.

Величины  $r2(0)$  и  $c2(0)$  соответствуют характеристикам нового оборудования, которое закупается исходя из суммы инвестиций  $400 + 110 \cdot 0.5 = 455$  тыс. у. е. (таблица этих данных не приводится для краткости изложения материала). Так как после этого замена оборудования не производится, возникнет маршрут работы оборудования, образуемый цепочкой узлов:  $A, B, J, K$  и  $L$ . Общая прибыль для всего этого маршрута, как показано на схеме, равна  $Q = 720$  тыс. у. е.

На третьем шаге решается задача принятия решения о замене оборудования в узле  $C$ . Выбор производится исходя из инвестиций в раз-

мере  $450 + 80 \cdot 0.5 = 490$  тыс. у. е. Прибыль между узлами  $C$  и  $M$ , согласно расчетам, составит 250 тыс. у. е., как показано на схеме.

Так как в дальнейшем замена оборудования не производится, то для этого варианта создается новый вариант маршрута, образованный цепочкой узлов:  $A, B, C, M, N$ . Общая прибыль для данного маршрута составит  $Q = 625$  тыс. у. е.

Наконец, на четвертом и последнем шаге принятия решения о замене оборудования (в узле  $D$ ) создается маршрут, проходящий через узлы  $A, B, C, D$  и  $O$ . На этом этапе выбирается тип нового оборудования исходя из накопленной к этому времени суммы инвестиций. Общая прибыль для маршрута с этими узлами составит, как показано на рисунке,  $Q = 372,5$  тыс. у. е.

Таким образом, в результате рассмотрения всех вариантов решений о замене оборудования получается, что существует всего пять вариантов решений, один из которых — это работа на старом оборудовании без замены, а в других вариантах может быть замена в узлах  $A, B, C$  и  $D$ . Оптимальное решение соответствует замене в узле  $B$ , когда старое оборудование имеет возраст 4 г.

Этот маршрут показан на сетевой модели жирными стрелками. Для оптимального варианта замены получается прибыль, равная  $Q = 720$  тыс. у. е.

Отметим, что возможна постановка рассматриваемой задачи с условием, что размер инвестиций не меняется по годам. Тогда в большинстве задач с различными данными получается тривиальное решение: чем раньше проведена замена оборудования, тем выше общая прибыль.

## Литература

1. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций. — 6-е издание / Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2001.
2. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. — М.: Советское радио, 1980.