

## УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

**Н.Ю. Юрченко**, студентка факультета экономики

**Е.Н. Едемская**, ст. преподаватель каф. ВМиП

Донецкий национальный технический университет, Украина

[nata\\_yurchenko@list.ru](mailto:nata_yurchenko@list.ru)

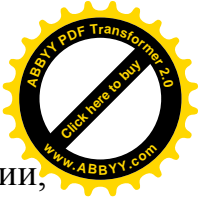
*Статья посвящена актуальной экономической задаче – управлению запасами предприятия. Для решения задачи использован метод динамического программирования. Предлагается программа оптимального выпуска изделий за плановый период, реализованная в среде VBA.*

*The article is devoted an actual economic task - control of inventories of enterprise. For the decision of task the used method of the dynamic programming. The program of optimum issue of wares is offered for planned period, realized in the environment of VBA.*

Объектом исследования данной работы является актуальная экономическая задача – управление запасами предприятия. Материально-производственные запасы – наименее ликвидная статья среди статей оборотных активов. Для обращения этой статьи в денежные средства требуется время не только для того, чтобы найти покупателя, но и для того, чтобы получить с него впоследствии оплату за продукцию.

Анализ производственных запасов имеет большое значение для эффективного финансового управления. Запасы могут составлять значительный удельный вес не только в составе оборотных активов, но и в целом в активах предприятия. Это может свидетельствовать о том, что предприятия испытывают затруднения со сбытом своей продукции, например из-за низкого качества продукции, нарушения технологии производства и выбора неэффективных методов реализации, недостаточным изучением рыночного спроса и конъюнктуры. Нарушение оптимального уровня материально-производственных запасов приводит к убыткам в деятельности компании, поскольку увеличивает расходы по хранению этих запасов, отвлекает из оборота ликвидные средства, увеличивает опасность обесценения товаров и снижения их потребительских качеств, приводит к потере клиентов, если это вызвано нарушением каких-либо характеристик товаров. В этой связи вопросы определения и поддержки оптимального объема запасов являются важным разделом финансовой деятельности [1].

Цель работы – разработать календарную программу оптимального выпуска изделий на плановый период. Решить задачу методом динамического программирования.



Динамическое программирование является одним из методов оптимизации, который применяется при решении большого числа задач, требующих упорядоченного перебора вариантов.

В задачах динамического программирования рассматривается процесс поведения некоторой системы во времени, причем состояние системы в каждый момент времени однозначно определяется числовыми значениями некоторого набора параметров и переменных. Операция выбора решения состоит в преобразовании этого набора в такой же набор с другими числовыми значениями. Дальнейшее поведение системы зависит только от текущего состояния и выбираемого управления и не зависит от того, в каких состояниях находилась система до этого момента. Предприятие должно составить календарную программу выпуска некоторого вида изделия на плановый период, состоящий из  $N$  отрезков. Предполагается, что для каждого из этих отрезков имеется точный прогноз спроса на выпускаемую продукцию. Время изготовления партии изделий настолько мало, что им можно пренебречь. Соответственно продукция, изготавливаемая в течение отрезка  $t$ , может быть использована для полного и частичного покрытия спроса в течение этого отрезка времени. Для разных отрезков спрос неодинаков. Кроме того, на экономические показатели производства влияют размеры изготавливаемых партий, поэтому предприятию нередко бывает выгодно изготавливать в течение некоторого месяца продукцию в объеме, превышающем спрос в пределах этого отрезка, и хранить излишки, используя их для удовлетворения последующего спроса. Вместе с тем хранение возникающих при этом запасов связано с определенными затратами. В зависимости от обстоятельств затраты обусловлены такими факторами, как проценты на капитал, взятый в займы для создания запасов; арендная плата за складские помещения; страховые взносы и расходы по содержанию запасов. Эти затраты необходимо учитывать и при установлении программы выпуска [2,3].

Предприятию необходимо разработать такую программу, при которой общая сумма затрат на производство и на содержание запасов минимизируется при условии полного и своевременного удовлетворения спроса на продукцию.

Для построения математической модели обозначим:  $x_t$  – выпуск продукции в течение этапа  $t$ ;  $i_t$  – уровень запасов на конец этапа  $t$ ;  $D_t$  – спрос на продукцию в течение этапа  $t$ ;  $c_t(x_t, i_t)$  – затраты на этапе  $t$ .

При построении модели сделаем следующие допущения:

1) величины  $D_t$  для всех  $t$  отображаются неотрицательными целыми числами;

2) к началу планового периода все  $D_t$  известны.

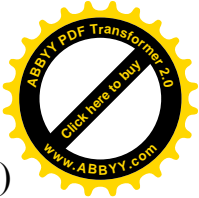
Для каждого этапа  $t$  затраты зависят от выпуска продукции  $x_t$ , уровня запасов  $i_t$  на конец этапа и, кроме того, возможно, от значения  $t$ .

Задача имеет вид:

Целевая функция :

$$\sum_{i=1}^N c_i(x_i, i_i) \rightarrow \min \quad (1)$$

Ограничения :



$$x_t = 0, 1, 2, \dots; t = \overline{1, N}; \quad (2)$$

$$i_N = 0; \quad (3)$$

$$i_{t-1} + x_t - i_t = D_t; t = \overline{1, N}. \quad (4)$$

В задаче необходимо минимизировать затраты (1) при ограничениях (2) — (4).

Согласно ограничению (4) уровень запасов на начало каждого этапа и объем выпуска продукции в течение этого этапа должен быть достаточно велик для того, чтобы уровень запасов на конец этапа был неотрицательным. Требуется не только неотрицательность, но и целочисленность уровней запасов. Таким образом, требуется, чтобы  $i_t = 0, 1, 2, \dots, t = \overline{1, N-1}$ .

При составлении математической модели будем использовать систему индексов, при которой подстрочный индекс «1» соответствует конечному, а «N» – начальному состоянию. Обозначим:  $d_n$  – спрос на продукцию на этапе  $n$ , отстоящем от конца планового периода на  $n$  этапов (включая рассмотренный);  $c_n(x, j)$  – затраты на этапе  $n$ , связанные с выпуском  $x$  единиц продукции и с содержанием запасов, уровень которых на конец этапа равен  $j$  единиц.

В этой системе обозначений  $d_1 \equiv D_t$  и  $d_n \equiv D_1$ , а  $c_1(x, j) \equiv c_N(x, j)$ .

Пусть уровень запасов на начало этапа определяет состояние системы в начале любого этапа. В таком случае для принятия текущего решения об объеме выпуска не нужно знать, каким образом достигнут начальный уровень. Обозначим:  $f_n(i)$  – стоимость, отвечающая стратегии минимальных затрат на  $n$  оставшихся отрезках при начальном уровне запасов  $i$ ;  $x_n(i)$  – выпуск, обеспечивающий достижение  $f_n(i)$ .

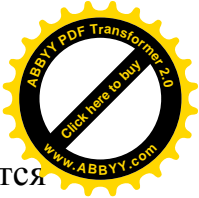
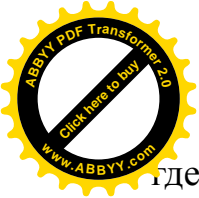
Согласно условию (3) уровень запасов на конец планового периода равен нулю, т.е.  $f_0(0) = 0, n = 0$ .

При  $n=1$  начальный уровень запасов  $i$  может определяться любым неотрицательным целым числом, не большим чем  $d_1$ ; вне зависимости от значения  $i$  для полного удовлетворения потребности в пределах последнего отрезка объем выпуска должен быть равен  $(d_1 - i)$ . Следовательно,  $f_1(i) = c_1(d_1 - i, 0); i = \overline{0, d_1}$ .

В случае  $n = 2$  начальный уровень запасов равен  $i$ , а объем выпуска –  $x$ , и общие затраты для двух месяцев составляют  $c_2(x, i + x - d_2) + f_1(i + x - d_2)$ .

При этом предполагается, что выбранная стратегия для  $n = 1$  была оптимальной. Величина  $(i + x - d_2)$  есть уровень запасов на конец этапа 2. Величина  $i$  может принимать любые неотрицательные, целочисленные значения, не превышающие  $(d_1 + d_2)$ . При заданном  $i$  целочисленное значение  $x$  должно быть не меньше чем  $(d_2 - i)$ . Это обеспечивает полное удовлетворение потребности на этапе 2, но не больше чем  $(d_1 + d_2 - i)$ , так как конечный запас равен нулю. Оптимальному объему выпуска соответствует такое значение  $x$ , при котором минимизируется целевая функция (1). Выполненный анализ ситуации для  $n = 2$  можно выразить следующей формулой (5):

$$f_2(i) = \min_x [c_2(x, i + x - d_2) + f_1(i + x - d_2)] \quad (5)$$



где  $i = 0, 1, \dots, d_1 + d_2$ , , причем для отыскания минимума перебираются все неотрицательные целые значения  $x$ , заключенные в пределах  $d_2 - i \leq x \leq d_1 + d_2 - i$ .

Таким образом, в данной задаче можно вычислить  $f_N(i_0)$ , где  $i_0$  – уровень запасов на начало планового периода. Общее рекуррентное соотношение записывается в виде формулы (6):

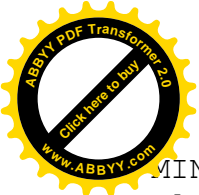
$$f_n(i) = \min_x [c_n(x, i+x-d_n) + f_{n-1}(i+x-d_n)], \quad n = \overline{1, N} \quad (6)$$

где  $i = 0, 1, \dots, d_1 + \dots + d_n$ , , причем для отыскания минимума перебираются все неотрицательные целые значения  $x$ , заключенные в пределах  $d_n - i \leq x \leq d_1 + d_2 + \dots + d_n - i$ .

Для реализации итеративной процедуры (6) представлена в данной статье предлагается программа, составленная в среде VBA. Определение оптимального выпуска продукции на заданный плановый период выполняется в режиме диалога, в процессе которого последовательно вводятся необходимые для решения задачи исходные данные. Результатом решения задачи является сводная таблица, содержащая все значения функций  $f_n(i)$ .

Рассмотрим тестовый пример. Необходимо разработать календарную программу выпуска изделий на плановый период, состоящий из 6 отрезков. Предполагается, что спрос постоянен во времени и составляет 3 единицы. Производственные мощности и складские площади предприятия ограничены: выпуск в течение одного отрезка не может превысить 5 единиц, а уровень запасов на конец отрезка – 4 единицы. Функция затрат одинакова для всех отрезков планового периода и равна сумме двух элементов: первый из них относится к производству, а второй определяется стоимостью содержания запасов, которые являются линейной функцией объемов запасов. Производственные запасы рассматриваются как сумма условно постоянных затрат на операции по переналадке (13 условных единиц) и пропорциональных затрат, равных двум условным единицам на каждую единицу продукции:  $c(0) = 0$ ,  $c(1) = 15$ ,  $c(2) = 17$ ,  $c(3) = 19$ ,  $c(4) = 21$ ,  $c(5) = 23$ . Затраты на содержание запасов  $h = 1$ . Задачу решить методом динамического программирования. Основная часть текста разработанной программы:

```
Sub vpusk()  
N = Range("B2")  
XMAX = Range("B3")  
SMAX = Range("B4")  
H = Range("B5")  
For I = 1 To XMAX  
C(I) = Cells(I + 6, 3)  
Next I  
For I = 1 To N  
SPROS(N - I + 1) = Cells(I + 12, 3)  
Next I  
'рассматривается конечный этап  
C(0) = 0  
If SMAX > SPROS(N) Then  
'макс. уровень запасов > спроса на этапе
```



```
MIN = SPROS(N)
Else
'макс. уровень запасов < спроса на этапе
MIN = SMAX
End If
For I = 0 To MIN
XK = MIN - I
FK(I, 1) = XK
F(I, 1) = C(XK)
Next I
SS = SPROS(1)
'рассматриваются предыдущие этапы
For K = 2 To N
For I = 0 To SMAX
X = SPROS(K) - I
MIN = 9999
If X < 0 Then
X = 0
End If
Do
XK = I + X - SPROS(K)
ST = C(X) + H * XK + F(XK, K - 1)
If ST < MIN Then
MIN = ST
XM = X
End If
X = X + 1
Loop Until (X > XMAX) Or (XK = SMAX) Or (XK = SS)
'затраты по выпуску продукции на этапах, связанные с уровнем
'запасов
F(I, K) = MIN
'выпуск продукции на этапах, связанный с уровнем запасов
FK(I, K) = XM
Next I
SS = SS + SPROS(K)
Next K
'формирование плана выпуска в зависимости от уровня запаса
For I = 1 To XMAX
PLAN(I, 1) = I - 1
PLAN(I, 2) = I
Next I
Urov(6) = 0
X = FK(PLAN(0, 2), 6)
PLAN(0, 1) = X
For K = N - 1 To 1 Step -1
Urov(K) = Urov(K + 1) + X - SPROS(K + 1)
X = FK(PLAN(Urov(K), 2), K)
PLAN(K, 1) = X
Next K
```

Исходные данные для решения тестовой задачи показаны на рисунке 1.



	А	В	С
1	Исходные данные		
2	Число этапов планового периода	6	
3	Максимально возможный объем выпуска продукции	5	
4	Максимально допустимый уровень запасов	4	
5	Стоимость хранения единицы продукции	1	
6			
7	Затраты, связанные с выпуском продукции в количестве:	1	15
8	Затраты, связанные с выпуском продукции в количестве:	2	17
9	Затраты, связанные с выпуском продукции в количестве:	3	19
10	Затраты, связанные с выпуском продукции в количестве:	4	21
11	Затраты, связанные с выпуском продукции в количестве:	5	23
12			
13	Величина спроса на этапах:	1	3
14	Величина спроса на этапах:	2	3
15	Величина спроса на этапах:	3	3
16	Величина спроса на этапах:	4	3
17	Величина спроса на этапах:	5	3
18	Величина спроса на этапах:	6	3

Рисунок 1.

Результат решения тестовой задачи показан на рисунке 2.

Е	Ф	Г	Н	И	Ж	З	Л	М	Н	О	Р	Q	Р
Результаты расчетов													
	Этап №1		Этап №2		Этап №3		Этап №4		Этап №5		Этап №6		
	Выпуск на этапе №1	Затраты на этапе №1	Выпуск на этапе №2	Затраты на этапе №2	Выпуск на этапе №3	Затраты на этапе №3	Выпуск на этапе №4	Затраты на этапе №4	Выпуск на этапе №5	Затраты на этапе №5	Выпуск на этапе №6	Затраты на этапе №6	
Уровень запасов равен	0	3	19	3	38	4	48	3	67	5	79	4	96
Уровень запасов равен	1	2	17	5	26	5	45	5	64	5	74	5	93
Уровень запасов равен	2	1	15	4	24	4	43	5	54	4	72	4	91
Уровень запасов равен	3	0	0	0	19	0	38	0	48	0	67	0	79
Уровень запасов равен	4	0	0	0	18	0	27	0	46	0	65	0	75
Предлагаемый план выпуска													
Уровень запасов на этапе	0		1		3		0		1		3		
Необходимо выпустить на этапе	4		5		0		4		5		0		

Рисунок 2.

В статье разработана программа в среде VBA для определения календарной программы оптимального выпуска изделий за плановый период. Для решения задачи использован метод динамического программирования.

Данная программа может применяться на промышленных предприятиях любой формы собственности, занимающихся выпуском изделий, если имеется точный прогноз спроса на плановый период.

#### Литература:

1. Стерлигова Ф. Н. Управление запасами в целях поставок. – М.: Инфра, 2008. – 430с.
2. Швайбфедер Дж. Эффективное управление запасами. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 304с.
3. Сакович В.А., Балашевич М.И. Модели управления запасами. – Москва, 1986. – 319с.