УДК 62-50:681.3

Е. Н. Хоботов

УПРАВЛЕНИЕ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫМИ ЗАПАСАМИ С УЧЕТОМ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ

Рассмотрены модели и методы управления многономенклатурными запасами с учетом производства продукции в условиях постоянного и случайного спроса. В условиях постоянного спроса предлагаемые методы позволяют получать оптимальные решения.

E-mail: :e_khobotov@mail.ru

Ключевые слова: *модели, управление запасами, программные продукты, спрос, хранение запасов, многономенклатурные запасы.*

В настоящее время в различных странах работает много организаций, связанных с созданием и хранением запасов. Такие организации, как правило, имеют дело с большими оборотами продукции, что приводит к значительным затратам на хранение и пополнение запасов.

В программных продуктах, представленных на российском рынке для управления запасами, практически не используются модели и методы, позволяющие благодаря правильному выбору объемов и времени пополнения запасов экономить значительные средства. Такое положение связано с тем, что подавляющее большинство моделей построено в предположении, что на складе хранится либо продукция одного типа, либо нескольких типов, объединенных в комплекты, либо имеются возможности управления запасами продукции каждого типа [1] независимо от управления запасами продукции других типов. Однако на складах большинства организаций, работающих с запасами, обычно хранится продукция различных типов, управлять запасами которой нельзя независимо от управления запасами продукции других типов. Это вызывает серьезные затруднения не только при управлении запасами, но и при разработке моделей и методов управления многономенклатурными запасами.

Более сложные проблемы возникают, когда требуется организовать управление многономенклатурными запасами с учетом производства продукции. В этих случаях запасы пополняются постепенно по мере изготовления продукции, а ее реализация происходит постоянно в соответствии с существующим спросом.

Для организации эффективного управления такими запасами требуется определять объемы и длительность производства продукции каждого типа так, чтобы обеспечить потребителей необходимой продукцией с учетом имеющихся запасов или же обеспечивать другие подразделения предприятия деталями, узлами и агрегатами. При этом также требуется сократить затраты на хранение продукции и переналадку производства с выпуска продукции или деталей одного типа на изготовление другого типа продукции или деталей.

В настоящей работе предлагаются модели и методы для управления многономенклатурными запасами с учетом производства продукции как в условиях постоянного, так и случайного спроса. В условиях постоянного спроса предлагаемые методы позволяют получать оптимальные решения.

Управление запасами при постоянном спросе. Рассмотрим случай, когда спрос на продукцию каждого типа является постоянным. Такие ситуации обычно возникают при межоперационном и межцеховом хранении узлов, деталей или заготовок различных типов.

Для пояснения идей построения модели управления многономенклатурными запасами с учетом производства продукции рассмотрим одну из самых простейших задач такого типа, постановка и алгоритмы решения которой достаточно хорошо известны [2–8].

Такая задача может быть сформулирована следующим образом. Пусть производственная система состоит из двух станков, на которых обрабатываются детали одного типа. Сначала детали обрабатываются на первом станке, а потом — на втором станке, имеющем другую производительность. Между станками имеется накопитель для межоперационного хранения деталей.

Рассмотрим случай, когда производительность второго станка меньше и в течение интервала планирования T произойдет целое число заполнений и расхода деталей в накопителе. В этом случае второй станок должен работать все время, а первый станок — работать до тех пор, пока в накопителе между станками не будет создан определенный запас продукции. Затем обработка деталей на первом станке прекращается и возобновляется в тот момент, когда запас деталей в накопителе закончится. После этого весь описанный процесс повторяется.

В задаче требуется определить время работы первого станка до отключения и время до момента его следующего включения, когда запас деталей в накопителе будет израсходован. Кроме того, в задаче требуется определить оптимальный запас, когда следует отключить первый станок, а также число деталей, которые будут обработаны за время работы первого станка.

В этом случае запас деталей в накопителе равномерно возрастает в течение времени работы первого станка, а после его остановки убывает по мере использования деталей для обработки на втором станке.

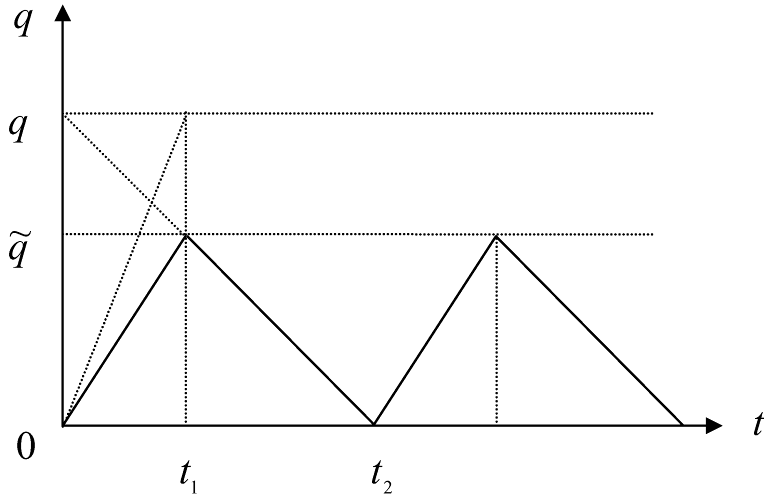

Рис. 1. Графическое представление процесса накопления деталей в накопителе

Пусть p — производительность первого станка, а r — производительность второго станка и $p > r$. Процесс накопления деталей между станками в этом случае графически может быть представлен, как показано на рис. 1.

Выведем уравнения модели для решения этой задачи сначала без учета требования целочисленности переменных. В этом случае уравнение для определения издержек D, связанных с хранением запасов и возобновлением работы первого станка, может быть записано в виде

$$D = \left(\frac{C\tilde{q}t_2}{2} + C_s\right)n,$$

где C — стоимость хранения в накопителе единицы товара в единицу времени; $\tilde{q}$ — максимальный запас деталей в накопителе; t_2 — момент времени, когда заново включается первый станок после его отключения в момент времени t_1; C_s — затраты на подготовку и запуск первого станка; n — число заполнений и расхода деталей в накопителе в течение планируемого интервала времени T $\left(n = \dfrac{T}{t_2}\right)$.

Величины $\tilde{q}$, t_2 и t_1 связаны между собой следующими соотношениями:

$$\tilde{q} = r(t_2 - t_1), \quad q = pt_1, \quad q = rt_2, \quad t_1 = \frac{r}{p}t_2.$$

Здесь q — число деталей, обработанных на первом станке за время t_1 и на втором станке за время t_2. Тогда

$$D(t_2) = \left(\frac{C\tilde{q}t_2}{2} + C_s\right)\frac{T}{t_2} = \frac{C\tilde{q}T}{2} + \frac{C_sT}{t_2} = \frac{Cr(p-t)t_2T}{2} + \frac{C_sT}{t_2}.$$

На переменную t_2 функции издержек $D(t_2)$ наложено ограничение $t_2 \geqslant 0$, но при $t_2 \to \infty$ величина $D(t_2) \to \infty$. Поэтому оптимальное значение t_2 можно определить из условия

$$\frac{dD(t_2)}{dt_2} = 0,$$

где

$$\frac{dD(t_2)}{dt_2} = \frac{Cr(p-r)T}{2p} - \frac{C_s T}{t_2^2}.$$

Отсюда получим $t_2 = \sqrt{\dfrac{2C_s p}{Cr(p-r)}}$.

Время работы первого станка до момента отключения составляет

$$t_1 = \frac{r}{p} t_2 = \sqrt{\frac{2C_s r}{Cp(p-r)}},$$

и за это время на первом станке изготовляется число деталей q, которое определяется из соотношения

$$q = rt_2 = \sqrt{\frac{2C_s pr}{C(p-r)}}.$$

Максимальное число деталей $\tilde{q}$, которое может находиться в накопителе, определяется из условия

$$\tilde{q} = \sqrt{\frac{2C_s r(p-r)}{Cp}}.$$

При выводе этих соотношений, как уже отмечалось ранее, не учитывалось требование целочисленности переменных $\tilde{q}$ и q.

Для определения целых значений переменных $\tilde{q}$ и q используем результаты исследований, приведенных в работах [6–8], и представим затраты как функцию переменной q, т. е. в следующем виде:

$$D(q) = \left(\frac{C\tilde{q}t_2}{2} + C_s\right)\frac{T}{t_2} = \frac{C\tilde{q}T}{2} + \frac{C_s T}{t_2} = \frac{C(p-t)qT}{2p} + \frac{C_s rT}{q}.$$

Видно, что функция затрат $D(q)$ является выпуклой функцией переменной q. Поэтому в тех случаях, когда значение $\hat{q}$, при котором функция $D(q)$ достигает минимума, не будет целым, в качестве оптимального целочисленного значения q^* выбирается одно из значений $[\hat{q}]$ или $[\hat{q}]+1$, при котором величина $D(q)$ окажется меньше. Здесь $[\hat{q}]$ — целая часть оптимального значения $\hat{q}$.

После определения оптимального целочисленного значения q^* вычисляются значения t_2^* и t_1^* с использованием соотношений $t_2^* = \dfrac{q^*}{r}$

и $t_1^* = \dfrac{q^*}{p}$ соответственно. Величина $\tilde{q}^*$ определяется соотношением $\tilde{q}^* = [\tilde{q}^0] + 1$, где $\tilde{q}^0 = r(t_2^* - t_1^*)$.

Таким образом, второй станок работает постоянно, а первый — до момента времени t_1^* и затем до момента времени t_2^* простаивает. После этого весь процесс обработки деталей повторяется.

В случае хранения продукции различных типов и номенклатуры задачи управления запасами при постоянном спросе могут быть сформулированы как для дискретной (штучной), так и для непрерывно измеряемой продукции, например бензинов, масел и т.д.

Рассмотрим задачу управления запасами непрерывно измеряемой продукции, которая формулируется следующим образом.

Пусть на производстве последовательно изготовляются L типов продукции, на которую имеется постоянный спрос r_i $(i = 1, \ldots, L)$. Переход с выпуска одного типа продукции на выпуск другого типа продукции требует финансовых и временны́х затрат на подготовку и переналадку оборудования производства. Будем также считать, что время переналадок оборудования и финансовые затраты зависят только от типа продукции, которая будет выпускаться после переналадки и не зависят от типа продукции, выпускавшейся до этого. Кроме того, требуется, чтобы на складе не было дефицита производимой продукции, поэтому процесс изготовления продукции следующий.

Сначала производится определенное количество продукции одного типа, например i-го, которая поступает потребителям в соответствии со спросом r_i, а невостребованная часть этого количества продукции поступает на склад. Со склада продукция отпускается потребителям, даже в то время, когда изготовляется уже продукция других типов. После завершения выпуска продукции одного типа производство подготавливается к выпуску продукции другого типа и осуществляется ее выпуск. Затем опять переналаживается производство, и выпускается продукция следующего типа и т.д. Когда будет завершен выпуск продукции L-го типа, начинается подготовка производства для выпуска продукции первого типа и весь процесс повторяется. Объемы выпуска продукции целесообразно определять таким образом, чтобы исключить проблемы как связанные с ее дефицитом, так и с хранением излишков.

Для обеспечения последовательного изготовления продукции L типов и наличия ее на складе, время между началом смежных выпусков продукции каждого типа предлагается сделать одинаковым.

В этом случае процесс накопления и расхода производимой продукции двух типов с учетом указанных требований можно представить графически (рис. 2).

При постоянном спросе на продукцию любого типа и одинаковых интервалах времени между началом смежных выпусков продукции

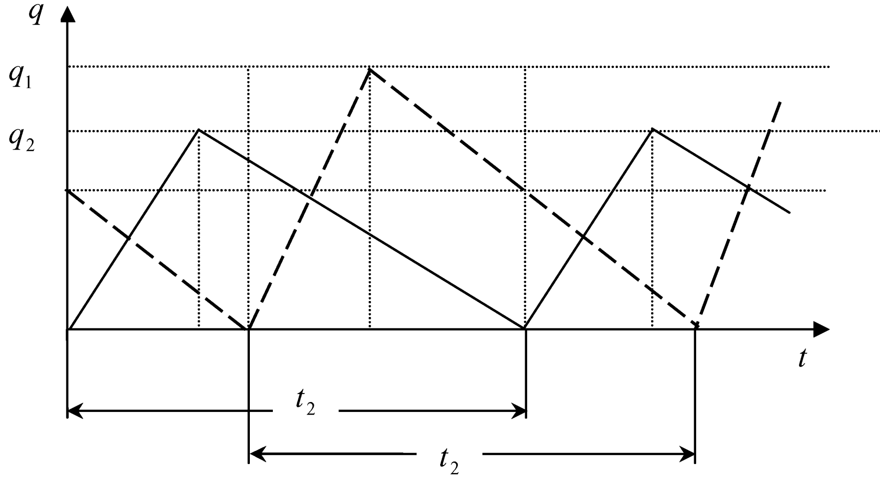

Рис. 2. Графическое представление процессов накопления и расхода производимых деталей двух типов

одного типа, как видно из примера, приведенного на рис. 2, график изменения количества продукции каждого типа на складе будет периодической функцией с периодом t_2.

В этой задаче требуется определить объемы выпуска продукции каждого типа, а также интервал времени, по истечении которого следует возобновлять выпуск этой продукции. Объемы выпускаемой продукции и время возобновления ее выпуска следует определять так, чтобы не было дефицита продукции на складе, а стоимости хранения продукции и переналадок оборудования в течение планируемого интервала времени T были бы минимальными.

Пусть стоимость хранения единицы продукции i-го типа в единицу времени равна C_i, стоимость переналадки производства для выпуска продукции i-го типа равна $\tilde{C}_{is}$, p_i — производительность производства по выпуску продукции i-го типа, r_i — потребность в продукции i-го типа в единицу времени, t_2 — время между началом смежных выпусков продукции одного типа.

Определим затраты на хранение продукции на складе и на возобновление производства в течение времени t_2. Этот интервал времени удобно отсчитывать с момента начала выпуска продукции какого-либо типа.

По истечении времени t_2 запасы продукции этого типа на складе должны быть равными нулю, поэтому выпуск израсходованной продукции следует возобновить. Остатки продукции других типов будут равны их же остаткам на момент начала исчисления этого времени.

Тогда затраты на хранение продукции на складе и на переналадку производства для выпуска продукции L типов в течение любого интервала времени t_2 будут равны

$$D = \sum_{i=1}^{L} \left(\frac{C_i q_i t_2}{2} + \tilde{C}_{si} \right), \tag{1}$$

где q_i — максимальное количество продукции i-го типа, которая хранится на складе ($i = 1, \ldots, L$).

Будем считать, что в течение интервала времени T произойдет целое число n пополнений и расхода продукции какого-либо типа на складе.

Поэтому затраты на хранение продукции на складе и на переналадку производства в течение планируемого интервала времени T будут составлять

$$D = \left(\sum_{i=1}^{L} \left(\frac{C_i q_i t_2}{2} + \tilde{C}_{si} \right) \right) n, \quad n = \frac{T}{t_2}.$$

Это справедливо, поскольку затраты на хранение продукции и на переналадку производства для последовательного выпуска продукции L типов в течение любого интервала времени t_2 будут одинаковыми.

Величина q_i может быть определена из следующих соотношений:

$$q_i = (p_i - r_i)\, t_{1i}, \quad q_i = r_i \left(t_2 - t_{1i} \right), \quad i = 1, \ldots, L,$$

а количество продукции i-го типа $\tilde{q}_i$, которое изготовляется каждый раз после возобновления ее производства, определяется из соотношения

$$\tilde{q}_i = r_i t_2 = p_i t_{1i}, \quad i = 1, \ldots, L,$$

где t_{1i} — время работы производства по выпуску продукции i-го типа. Из последнего выражения получаем

$$t_{1i} = \frac{r_i}{p_i} t_2, \quad i = 1, \ldots, L.$$

Выражая величины q_i через t_2 и подставляя соотношение $n = \dfrac{T}{t_2}$ в выражение (1), получаем

$$D(t_2) = \sum_{i=1}^{L} \left(\frac{C_i r_i (p_i - r_i) t_2 T}{2 p_i} + \frac{\tilde{C}_{si} T}{t_2} \right).$$

На область изменения переменной t_2 этой функции должны быть наложены следующие ограничения:

$$\sum_{i=1}^{L} \left(t_{1i} + \tau_i \right) - t_2 \leqslant 0, \quad t_2 \geqslant 0, \tag{2}$$

где τ_i — время переналадки оборудования для выпуска продукции i-го типа.

Данные ограничения связаны с тем, что в течение каждого интервала времени t_2 должны быть изготовлены L типов продукции и проведены необходимые переналадки производства для ее выпуска.

Из первого ограничения с учетом соотношения $t_{1i} = \dfrac{r_i}{p_i} t_2$ и при $1 - \sum\limits_{i=1}^{L} \dfrac{r_i}{p_i} > 0$ получаем:

$$\frac{\sum\limits_{i=1}^{L} \tau_i}{1 - \sum\limits_{i=1}^{L} \dfrac{r_i}{p_i}} \leqslant t_2.$$

Функция $D(t_2)$ является выпуклой, непрерывно дифференцируемой. На область изменения переменной t_2 наложены приведенные ограничения и при $t_2 \to 0 \quad D(t_2) \to \infty$. Поэтому минимум этой функции достигается либо внутри допустимой области в такой точке t_2, в которой производная этой функции равна нулю, либо на границе допустимой области, в которой последнее неравенство выполняется как равенство.

В связи с этим оптимальное значение t_2, при котором функция $D(t_2)$ достигает минимума, определяется следующим образом. Сначала из условия равенства нулю производной функции $D(t_2)$ определяется точка безусловного минимума этой функции

$$\tilde{t}_2 = \sqrt{2 \sum_{l=1}^{L} \tilde{C}_{sl} \Big/ \sum_{i=1}^{L} C_i r_i \left(1 - \frac{r_i}{p_i}\right)}. \qquad (3)$$

Затем проверяется выполнение неравенства

$$\frac{\sum\limits_{i=1}^{L} \tau_i}{1 - \sum\limits_{i=1}^{L} \dfrac{r_i}{p_i}} \leqslant \tilde{t}_2.$$

Если это неравенство выполняется, то оптимальное значение t_2 равно $\tilde{t}_2$. В противном случае оптимальное значение t_2 будет равно

$$t_2 = \frac{\sum\limits_{i=1}^{L} \tau_i}{1 - \sum\limits_{i=1}^{L} \dfrac{r_i}{p_i}}.$$

При $1 - \sum\limits_{i=1}^{L} \dfrac{r_i}{p_i} \leqslant 0$ задача не имеет решения. Отсюда, после определения оптимального значения t_2 и использования приведенных соотношений для определения $\tilde{q}_i$, q_i и t_{1i}, получаем

$$q_i = \frac{r_i(p_i - r_i)}{p_i} t_2, \quad \tilde{q}_i = r_i t_2 = p_i t_{1i}, \quad t_{1i} = \frac{r_i}{p_i} t_2, \quad i = 1, \ldots, L.$$

Рассмотрим теперь задачу управления многономенклатурными запасами дискретной (штучной) продукции. Эта задача формулируется практически так же, как и задача управления запасами непрерывно измеряемой продукции.

Существенным отличием данной задачи от рассмотренной ранее является требование целочисленности переменных, которые должны определять число единиц производимой и хранимой продукции. Такое требование значительно усложняет методы решения задачи.

Для ее решения используем приближенный алгоритм, в котором построение целочисленного решения начинается с решения, полученного без требования целочисленности. Такой подход используется при решении большинства задач с требованием целочисленности переменных.

Пусть определено оптимальное значение t_2. Тогда, используя приведенные соотношения, определим количество продукции i-го типа $\tilde{q}_i$ $(i = 1, \ldots, L)$, которое изготовляется каждый раз после возобновления ее производства, и получим

$$\tilde{q}_i = r_i t_2, \quad i = 1, \ldots, L.$$

Если все величины $\tilde{q}_i$ $(i = 1, \ldots, L)$ окажутся целыми, то полученное решение будет оптимальным. Если среди $\tilde{q}_i$ какие-либо не окажутся целыми, то в качестве целых значений следует выбирать $[\tilde{q}_i] + 1$, поскольку в противном случае на складе возникнет дефицит продукции, что не допускается по условиям задачи.

После определения $\breve{q}_i$ вычисляется время t_{1i}, в течение которого должны быть изготовлены эти детали. Вычисления проводят в соответствии с приведенными соотношениями:

$$t_{1i} = \frac{\breve{q}_i}{p_i}, \quad i = 1, \ldots, L.$$

Полученные значения t_{1i} должны удовлетворять ограничению (2). Если это ограничение выполняется, то вычисляется функция затрат при этих значениях t_2, t_{1i}, q_i, $\breve{q}_i$. Величины q_i определяются с помощью соотношений $\tilde{q}_i = [\tilde{q}_i^0] + 1$, где $\tilde{q}_i^0 = r_i(t_2 - t_{1i})$. В противном случае t_2 увеличивается до тех пор, пока не будет выполнено ограничение (2) при целых значениях q_i и $\breve{q}_i$. Выбор t_2 всегда возможен при выполнении условия

$$1 - \sum_{i=1}^{L} \frac{r_i}{p_i} \leqslant 0.$$

Из всех допустимых t_2, удовлетворяющих ограничению (2) при целых значениях q_i и $\breve{q}_i$, в качестве оптимальной выбирается минимальное значение t_2.

Здесь следует отметить, что требование целочисленности числа произведенных деталей приводит к необходимости корректировки производства деталей, поскольку после каждого возобновления производства изготовляется не дробное число деталей $\tilde{q}_i$, а целое $\breve{q}_i$, равное $[\tilde{q}_i] + 1$.

Поэтому на складе в момент возобновления производства остается некоторый запас продукции, который накапливается, и возникает ситуация, когда при некотором возобновлении производства может быть изготовлено не $\breve{q}_i$ деталей, а меньшее число деталей, равное $[\tilde{q}_i]$. Для определения момента возобновления производства, на котором может быть произведено $[\tilde{q}_i]$ деталей i-го типа, следует контролировать запас продукции, который накапливается к каждому моменту возобновления производства. Как только запаса продукции на момент возобновления ее производства превысит единицу, то можно производить меньшее число деталей, равное $[\tilde{q}_i]$.

Таким образом, построенный алгоритм позволяет получать весьма хорошие целочисленные решения задачи управления многономенклатурными запасами дискретной продукции, поскольку время между возобновлениями производства продукции каждого типа является оптимальным, и только не целые объемы выпуска продукции увеличены до ближайшего целого числа.

Управление запасами при случайном спросе. Рассмотрим принципы построения моделей управления многономенклатурными запасами с учетом производства продукции, когда спрос на продукцию является случайным.

Необходимость управления запасами в таких условиях возникает обычно на предприятиях при производстве, хранении и реализации готовой продукции. В этих случаях обычно производительность предприятия по выпуску готовой продукции p_i можно с достаточно высокой степенью точности считать постоянной, а спрос на продукцию будет случайной величиной. В условиях случайного спроса гарантировать отсутствие дефицита продукции на складе невозможно, но рассмотренная ранее модель может быть приспособлена для управления запасами и в этих случаях.

Чтобы упростить изложение принципов построения моделей в условиях случайного спроса будем рассматривать задачи управления запасами непрерывно измеряемой продукции.

Интервал времени между смежными возобновлениями выпуска продукции одного типа t_2, как предлагалось в работах [9, 10], можно определять в соответствии с описанной в предыдущем разделе процедурой, но при использовании этой процедуры величины r_i заменяются величинами среднего спроса $\bar{r}_i$ по каждому продукту на интервале планирования T.

Соотношение для определения t_2 при таком предположении принимает следующий вид:

$$t_2 = \max\left\{\sqrt{\frac{2\sum\limits_{i=1}^{L}\tilde{C}_{si}}{\sum\limits_{i=1}^{L}C_i\bar{r}_i\left(1-\dfrac{\bar{r}_i}{p_i}\right)}},\ \frac{\sum\limits_{i=1}^{L}\tau_i}{1-\sum\limits_{i=1}^{L}\dfrac{\bar{r}_i}{p_i}}\right\}.$$

Однако средний спрос между смежными возобновлениями выпуска продукции каждого типа может изменяться даже при условии, что значение среднего спроса на эту продукцию в течение всего интервала планирования T будет равна прогнозируемому. Изменения среднего спроса между смежными возобновлениями выпуска продукции могут приводить, как к возникновению остатков продукции, так и к их нехватке на складе в момент следующего возобновления выпуска продукции. Это, в свою очередь, приводит к увеличению затрат при работе склада.

Для сокращения затрат на хранение запасов и затрат производства, возникающих из-за дефицита продукции, в процесс управления по аналогии с работами [9, 10] предлагается ввести обратную связь, что позволит сократить остатки продукции и их нехватку на складе к моменту следующего возобновления выпуска продукции.

Для этого время производства продукции i-го типа t_{1i} $(i = 1, \ldots, L)$ при k-м возобновлении выпуска этой продукции будем вычислять с учетом значения среднего спроса $\hat{r}_{ik}$, которое определяется для интервала времени между k-м и (k+1)-м возобновлением выпуска этой продукции, т.е. $t_{1i} = \dfrac{\hat{r}_{ik}}{p_i}t_2$, $i = 1, \ldots, L$.

Значения $\hat{r}_{ik}$ будут более точно отражать средний спрос при k-м возобновлении выпуска продукции i-го типа, по сравнению со значением среднего спроса $\bar{r}_i$ на i-ю продукцию на всем интервале планирования T, поскольку точность любого прогноза, как правило, тем выше, чем меньше интервал прогнозирования [11]. Даже в тех случаях, когда $\bar{r}_i$ точно отражает значение среднего спроса за время T, использование более точных значений прогноза среднего спроса $\hat{r}_{ik}$ при вычислении t_{1i} для интервалов времени между смежными возобновлениями выпуска продукции i-го типа может привести как к сокращению остатков продукции, так и к их нехватке в момент следующего возобновления выпуска продукции i-го типа. Это, в свою очередь, может привести к общему сокращению затрат на хранение запасов и на возобновление производства продукции.

Существуют различные способы прогноза значений как $\hat{r}_{ik}$, так и $\bar{r}_i$. Например, значения $\hat{r}_{ik}$ можно вычислять с помощью следующих соотношений:

$$\hat{r}^0_{ik} = \hat{r}^0_{ik-1}\frac{k-1}{k} + \frac{\hat{r}_{ik-1}}{k}, \quad k = 1, \ldots; \tag{4}$$

$$\hat{r}^l_{ik} = \alpha_l \hat{r}_{ik-2} + (1-\alpha_l)\hat{r}_{ik-1}, \ \alpha_l \in [0,1], \ l = 1, \ldots, L, \quad k = 1, \ldots; \tag{5}$$

$$\begin{gathered} \hat{r}^l_{ik} = \beta_l \hat{r}_{ik-1} + \tilde{\alpha}_l \hat{r}_{ik-2} + \gamma_l \hat{r}_{ik-3}, \quad \beta_l + \alpha_l + \gamma_l = 1, \\ l = L+1, \ldots, L+V, \ \ k = 1, \ldots, \end{gathered} \tag{6}$$

где $\hat{r}^l_{ik}$ — прогнозируемое значение среднего спроса на продукцию i-го типа между k-м и (k+1)-м возобновлениями выпуска этой продукции, которое вычисляется с использованием l-го набора весовых коэффициентов; $\hat{r}_{ik-1}$, $\hat{r}_{ik-2}$, $\hat{r}_{ik-3}$ — значения среднего спроса на продукцию i-го типа соответственно для (k-1)-го, (k-2)-го и (k-3)-го возобновления выпуска этой продукции, которые могут быть определены уже по фактическому спросу к моменту построению прогноза для k-го возобновления выпуска продукции i-го типа; α_l, $\tilde{\alpha}_l$, β_l, γ_l — весовые коэффициенты, которые постоянны для каждого значения индекса. Индексы l у весовых коэффициентов указывают на конкретный вариант выбора соответствующего весового коэффициента, который, в свою очередь, определяет конкретный вариант соотношения, используемый для расчета $\hat{r}^l_{ik}$. Величины L и V определяют число вариантов расчета $\hat{r}^l_{ik}$.

Одни соотношения, например соотношение (3), позволяет более точно определять значения $\hat{r}^0_{ik}$, если процесс изменения спроса оказывается стационарным, а другие соотношения такие, как (4) и (5) позволяют более точно определять значения $\hat{r}^l_{ik}$, если процесс изменения спроса имеет тенденции к увеличению или снижению.

Поскольку тенденции изменения спроса в реальных ситуациях работы складов заранее определить сложно, то для управления запасами предлагается использовать следующий весьма простой алгоритм адаптации.

Задаются различные наборы весовых коэффициентов α_l, $\tilde{\alpha}_l$, β_l, γ_l и с их использованием определяются значения $\hat{r}^l_{ik}$. Значения весовых коэффициентов определяют “важность” соответствующей компоненты при вычислении $\hat{r}^l_{ik}$, а их правильный подбор позволяет более точно оценить спрос на следующий интервал времени. В тех случаях, когда имеющиеся наборы весовых коэффициентов не позволяют адекватно осуществлять такой прогноз, по имеющимся статистическим данным можно вычислять дополнительные весовые коэффициенты α_l, $\tilde{\alpha}_l$, β_l, γ_l, которые будут более точно отражать текущие колебания спроса.

Значения t_{1i} можно вычислять для каждого значения $\hat{r}^l_{ik}$, которое определяется с помощью соответствующего соотношения. В связи с этим удобно для величин t_{1i} также ввести дополнительные индексы, которые будут показывать, с использованием каких соотношений вычислялись эти значения. Тогда при управлении запасами целесообразно вычислять наборы t^{lk}_{1i}, где индекс k указывает номер возобновления выпуска продукции i-го типа, а индекс l — номер соотношения, по которому вычисляются значения $\hat{r}^l_{ik}$ и $t^{lk}_{1i} = \dfrac{\hat{r}^l_{ik}}{p_i} t_2$. При $(k+1)$-м возобновлении выпуска продукции i-го типа из множества $\{t^{lk+1}_{1i}\}$ предлагается выбирать ту величину t^{lk+1}_{1i}, для которой значение $\hat{r}^l_{ik-1}$ в предыдущем периоде показало лучший результат, т.е. наиболее близкий к фактическому. После выбора наиболее подходящих значений $(\hat{r}^l_{ik+1}, t^{lk+1}_{1i})$ необходимо проводить проверку условия, выполнение которого обеспечивает возможность изготовления L партий деталей в течение интервала времени t_2. Это условие имеет вид

$$\sum_{v=1, v\neq i}^{L} (t_{1v} + \tau_v) + t^{lk+1}_{1i} + \tau_i - t_2 \leqslant 0,$$

где t_{1v} — уже выбранное время изготовления продукции v-го типа непосредственно перед $(k+1)$-м возобновлением выпуска продукции i-го типа.

При нарушении этого неравенства t^{lk+1}_{1i} следует корректировать.

Приведенный алгоритм адаптации позволит эффективнее и быстрее подстраиваться к изменениям спроса, особенно в тех случаях, когда отсутствуют резкие скачки спроса.

Здесь также следует отметить, что вычисление наборов $\{t^{lk+1}_{1i}\}$ не вызывает особых затруднений при современном состоянии вычислительной техники, поскольку во всех рассматриваемых моделях после определения t_2 значения t^{lk+1}_{1i} вычисляются в соответствии с простыми соотношениями вида $t^{lk+1}_{1i} = \dfrac{\hat{r}^l_{ik+1}}{p_i} t_2$, расчет которых не требует значительного времени даже для достаточно большого числа наборов $\{\hat{r}^l_{ik+1}\}$.

Общее число деталей i-го типа $\tilde{q}_{ik}$, которое целесообразно изготовлять при k-м возобновлении их производства, определяется с помощью следующего соотношения: $\tilde{q}_{ik} = \hat{r}^*_{ik} t_2$, где $\hat{r}^*_{ik}$ — выбранное из множества наборов $\{\hat{r}^l_{ik}\}$ прогнозируемое значение среднего спроса между k-м и $(k$+1)-м возобновлениями выпуска продукции i-го типа, $i = 1, \ldots, L$.

Для решения задач управления многономенклатурными запасами дискретной (штучной) продукции может быть использован алгоритм, аналогичный алгоритму, предлагаемому для решения подобных задач в условиях постоянного спроса, который был описан ранее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К а л и н и н Н. М., Х о б о т о в Е. Н. Модели управления многопродуктовыми запасами при постоянном спросе // Автоматика и телемеханика. – 2008. – № 9. – С. 156–169.
2. Х о б о т о в Е. Н. Управление в технических системах. Ч. 1. Управление запасами. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.
3. Л а н г е О. Оптимальные решения. – М.: Прогресс, 1967.
4. Х е д л и Д., У а й т и н Т. Анализ систем управления запасами. – М.: Наука, 1969.
5. Р ы ж и к о в Ю. И. Теория очередей и управление запасами: Учеб. пособие для вузов. – СПб.: ИД “Питер”, 2001.
6. К о л о б о в А. А., О м е л ь ч е н к о И. Н., О р л о в А. И. Менеджмент высоких технологий. Интегрированные производственно-корпоративные структуры: организация, экономика, управление, проектирование, эффективность, устойчивость. – М.: Экзамен, 2008.
7. О р л о в А. И. Теория принятия решений. – М.: Экзамен, 2006.
8. О р л о в А. И. Оптимальные решения в экономике и управлении. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.
9. И с а е в В. К., Х о б о т о в Е. Н. О некоторых моделях управления многопродуктовыми запасами // Сб. трудов конф. “Проблемы машиностроения”. Москва. – 2008. — С. 254–258.
10. К а л и н и н Н. М., Х о б о т о в Е. Н. Управление многопродуктовыми запасами в условиях постоянного и случайного спроса // Сб. трудов ИСА РАН “Динамика неоднородных структур”. – 2008. – Т. 33, вып. 12. - С. 185–199.
11. Б о к с Д ж., Д ж е н к и н с Т. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. – М.: Мир, 1974.

Статья поступила в редакцию 21.10.2010

Евгений Николаевич Хоботов окончил МФТИ в 1972 г. Д-р техн. наук, профессор кафедры РК-9 МГТУ им. Н.Э. Баумана, вед. науч. сотрудник ИПУ РАН. Автор 120 научных работ в области исследования операций, методов оптимизации и управления запасами, теории расписаний.

Ye.N. Khobotov graduated from the Moscow Physics and Technology Institute in 1972. D. Sc. (Eng.), professor of RK-9 department of the Bauman Moscow State Technical University, leading researcher of the Institute for Control Problems of the Russian Academy of Sciences. Author of 120 publications in the field of operations research, methods of inventory optimization and management, scheduling theory.