EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. XVIII KÖIDE
ÜHISKONNATEADUSED. 1969, Nr. 4

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ТОМ XVIII
ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ. 1969, № 4
https://doi.org/10.3176/hum.soc.sci.1969.4.02

Г. ФЕЛИЦИУС

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОСТАВОК. II. ФОРМИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ ПРИ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ

В первой части настоящей работы [1] были построены модели формирования запасов и издержек обращения при поставках продукции, осуществляемых равными партиями через равные интервалы времени. Некоторая идеализация процесса вполне допустима при моделировании, хотя и приводит к дополнительным погрешностям, особенно при исчислении итоговых величин. Однако в ряде случаев погрешности могут сильно исказить картину процесса или даже сделать невозможным его исследование. Указанное в какой-то мере можно отнести и к грубым моделям процессов поставок.

В практике материально-технического снабжения параметры поставок далеки от идеальных, причем наибольшее влияние на процессы формирования запасов и издержек обращения оказывает вариация величин партий поставки и интервалов между ними. Расчеты показывают, что в реальных условиях величина запасов, формируемых у потребителей продукции в результате вариации параметров поставок, соизмерима с уровнем запасов, образующимся из-за дискретности процесса снабжения, а иногда даже превышает его.

Кроме того, отклонения запасов от среднего уровня в сторону уменьшения их величины приводят к периодически повторяющемуся исчерпанию запаса, т. е. к перебоям в снабжении. Последнее вызывает необходимость создания так наз. страхового запаса и рост величины совокупных запасов. Поэтому построенные ранее модели идеальных процессов поставок следует откорректировать с учетом имеющих место вариаций параметров и потребности создания страховых запасов. Большую важность представляет также прогнозирование процесса формирования запасов при наличии вариации величины партии поставки и интервалов между ними.

Поскольку каждый из указанных вопросов имеет самостоятельное значение, рассмотрим их раздельно.

1. Влияние вариации параметров поставок на процессы формирования запасов и издержек обращения

Прежде всего следует отметить, что вариация параметров поставок непосредственно не оказывает существенного влияния на величину издержек обращения, которые изменяются лишь за счет отклонения совокупных запасов от заданных оптимальных значений. Это следует, например, из выражения (20) *, согласно которому издержки от транспортно-заготовительных операций в зависимости от величины партии поставки меняются линейно и, следовательно, отклонение последней от среднего значения не вызывает увеличения издержек; колеблемость интервала между поставками также не оказывает на них влияния.

* Принимается сквозная нумерация формул, начатая в [1].

Наибольший интерес, таким образом, представляет исследование вопросов об изменении величины совокупных запасов, а в зависимости от них и издержек, при вариации параметров поставок.

В основе вариационной модели лежит выражение (1), которым определяется величина запасов в общем случае поставок, произвольных по величине и интервалам. Анализ его показывает, что любое отклонение величины партии поставки от среднего значения $q_{cp} = \frac{\sum q}{n}$ приводит к увеличению запасов, что характеризуется возрастанием абсолютной величины второго члена правой части уравнения.

Между тем, среди экономистов распространено ошибочное мнение, что среднюю норму текущих запасов можно рассматривать как среднюю арифметическую суммы партий отдельных поставок и что величина запасов не зависит от вариации партии поставки, а определяется исключительно ее средней величиной.

На величину совокупных запасов оказывает также влияние вариация интервала между поставками, причем проявляется это двояким образом. Средняя величина запасов будет минимальной в том случае, если очередная партия поставки пополнит их в момент полного исчерпания, если же партия поступит до исчерпания запасов, то они возрастут на величину остатка, имевшегося к моменту поступления.

При поступлении очередной партии с опозданием запасы от предыдущих поставок будут исчерпаны и возникнет перебой в снабжении. Чтобы этого не происходило, потребители создают специальные, так наз. страховые запасы.

В результате отклонения сроков поступления поставок от заданных как в сторону опережения, так и в сторону опоздания приводят к росту совокупных запасов.

Третий член уравнения (1) учитывает увеличение среднего уровня запасов только за счет опережения поставок, поэтому чтобы учесть также потребность в страховых запасах, его следует несколько преобразовать. Очевидно, что этот член представляет собой средневзвешенную арифметическую остатка запасов от предыдущих поставок и его можно заменить взвешенным средним квадратическим отклонением, т. е.

$$\sum q_i z_i / \sum q_i \approx \sqrt{\sum \delta^2 q_i / \sum q_i};$$

переходя от взвешенной величины среднего квадратического отклонения по размеру партии поставки к невзвешенной, можно написать

$$\sum q_i z_i / \sum q_i \approx \sqrt{(z - z_{cp})^2 n}. \tag{32}$$

При отсутствии вариации параметров, средняя величина запасов минимальна и равна $Z = q/2$; поэтому за наименьший размер запасов для произвольно осуществляемых поставок следует принять половину средней партии поставки:

$$Z = q_{cp}/2 = \sum q_i / 2n.$$

Поскольку нас интересуют не абсолютные размеры запасов, формируемых при варьирующих поставках, а обусловленный этим прирост их величины, то средние запасы в выражении (1) следует определить по отношению к их наименьшей величине, тогда после соответствующих преобразований и с учетом обоснованных ранее замен имеем

$$Z = q_{cp}/2\,[1 + \sum (q - q_{cp})^2 / n q_{cp}^2 + 2/q_{cp} \sqrt{(z - z_{cp})^2 / n}]. \tag{33}$$

Если через σ_τ обозначить среднее квадратическое отклонение интервалов поставок от заданного значения, то принимая во внимание, что удельный расход в единицу времени (U) равен $U = \sum q/T$, где T — плановый период поставок, получаем

$$Z = q_{cp}/2 (1 + \sigma q^2 / q_{cp}^2 + 2U\sigma_\tau / q_{cp}). \tag{34}$$

Отношение среднего квадратического отклонения к средней арифметической носит в математической статистике название коэффициента вариации (K_v) и с учетом того, что $K_v = \sigma/q_{ср}$, окончательно запишем

$$Z = \frac{q_{ср}}{2}(1 + K_{vq}^2 + 2UK_{v\tau}). \tag{35}$$

Следовательно, прирост величины запасов, или коэффициента роста запасов (ΔK_Z), при вариации параметров поставок можно выразить

$$\Delta K_Z = 1 + K_{vq}^2 + 2UK_{v\tau}. \tag{36}$$

Основное достоинство выражения (36) в том, что коэффициент роста запасов определен при посредстве основных статистических характеристик, дисперсий и коэффициентов вариации совокупности поставок, величины партий которых и интервалы между ними могут меняться в любых пределах. Кроме того, использование этих характеристик позволяет сопоставлять варьирующие поставки в широком диапазоне объемов потребления, включая поставки, осуществляемые различными поставщиками.

Естественно, что для выяснения вида зависимости коэффициентов вариации поставок от величины объема потребления необходимы дополнительные исследования, однако некоторые предположения можно сделать и теоретическим путем. Прежде всего следует заметить, что при минимальном объеме потребления вариация величины партии поставки, как правило, равна нулю. Это обусловлено тем, что мелкие потребители получают всю выделенную им в плановом периоде продукцию сразу в виде одной поставки, т. е. без вариации. С увеличением объема потребления вариация партии поставки возрастает, особенно в тех случаях, когда потребитель получает продукцию от нескольких поставщиков.

Вариация интервалов между поставками с ростом объема потребления, наоборот, уменьшается, по-видимому, за счет уменьшения величины интервалов. По данным [2] при исследовании зависимости между средним колебанием интервала и среднесуточным расходом ферросматериалов выявилось, что между ними существует корреляционная связь, а уравнение связи имеет вид гиперболической зависимости.

Полагаем, что характер изменения коэффициента роста запасов при вариации параметров поставок должен быть изучен в широком диапазоне объемов снабжения, особенно для видов продукции массового потребления.

Если поставки осуществляются в условиях вариации их параметров, то все математические модели управления запасами или выбором форм снабжения подлежат корректировке с учетом коэффициента роста запасов. При этом необходимо иметь в виду, что любые вариации параметров поставок приводят к увеличению уровня запасов и, следовательно, чтобы получить действительные значения величины запасов и издержек обращения, все значения коэффициентов запасов в (6)—(31) необходимо умножить на величину коэффициента роста запасов, соответствующего степени вариации поставок.

В то же время вычисленные по (2)—(5) и по формуле Вильсона величины партии поставки окажутся не оптимальными и потребуют соответствующего пересчета, который может быть произведен следующим образом. Исходя из (2), (3), (9), определим оптимальный коэффициент запасов:

$$K_{опт} = \sqrt{q_{опт}/n_{опт}} = \sqrt{2a/h}; \quad Z_{опт}h = n_{опт}a. \tag{37}$$

Из последнего выражения следует, что произведение величины оптимальных запасов на стоимость расходов по хранению и ущерб от иммобилизации оборотных средств в запасы равно произведению оптимального числа поставок на транспортно-заготовительные расходы по одной поставке. С ростом величины запасов, обусловленным вариацией поставок, равенство (37) нарушится и для его восстановления необходимо величину партии поставки $q_{вар}$ поделить на величину приращения коэффициента запасов.

Тогда откорректированное значение коэффициента запасов можно определить из выражения

$$K_{\text{опт}} = \sqrt{q_{\text{вар}}/\Delta K\, n_{\text{опт}}} = \sqrt{2a/\Delta Kh}. \tag{38}$$

Величину оптимальной партии поставки с учетом вариации можно определить в зависимости от выбранного критерия оптимальности по следующей формуле:

$$q_{\text{опт}} = K_{\text{опт}}\ \sqrt{V} = \sqrt{2aV/\Delta Kh}. \tag{39}$$

Очевидно, в этом случае величина партии поставки будет несколько меньше, чем при вычислении по (2), однако уровень запасов будет таким же.

Итак, наличие вариаций параметров поставок приводит к росту запасов и увеличению приведенного коэффициента запасов в зависимости от степени вариации. В связи с этим для реальных условий поставок коэффициент запасов нельзя рассматривать как постоянную величину, и его значения должны определяться из статистических данных о поставках. К этому следует добавить, что при отсутствии вариации параметров поставок по величине и интервалам, все же имеет место вариация значений коэффициента запасов. Последняя обусловлена тем, что в практике поставок размер партий и количество их для различных объемов потребления не регламентированы строго, поэтому поставщики продукции выбирают параметры поставок для различных потребителей с некоторыми отклонениями от заданных в (2) и (3), что должно учитываться при расчетах.

В тех случаях, когда не требуется повышенная точность определения совокупных запасов и издержек обращения, можно пользоваться средним значением коэффициента запасов, который исчисляется как средняя квадратическая коэффициентов запасов отдельных групп потребителей.

$$K_{\text{ср}} = \sqrt{(K_1^2 + K_2^2 + \ldots + K_m^2)/m}, \tag{40}$$

где K_1; K_2; K_m — коэффициенты запасов отдельных групп потребителей, а m — число таких групп.

Для более точных вычислений необходимо по статистическим данным о поставках определить корреляционную зависимость между коэффициентом запасов и величиной объема потребления, которую и следует использовать при расчетах.

При определении совокупных запасов и издержек обращения зависимость коэффициента запасов от объема потребления $K = f_k(V)$ должна быть умножена на соответствующие функциональные зависимости и наравне с ними принята во внимание.

Следовательно, исходными при исчислении искомых величин по моделям (12)—(30) служат пять функциональных зависимостей:

$$q = f_q(V); \quad N = f_N(V); \quad S = f_S(V); \quad n = f_n(V); \quad K = f_k(V).$$

Нужно отметить, что зависимость $K = f_k(V)$ должна учитываться раздельно при расчетах как по транзитным, так и по складским поставкам. Особенность этой зависимости в том, что при переходе от поставок мелкими отправками к контейнерным и повагонным отправкам, функция $f_k(V)$ становится разрывной и в диапазоне этих поставок ее значение остается неизменным. Причина состоит в том, что при контейнерных и повагонных поставках величина партии поставки практически не изменяется во всем диапазоне их независимо от объема потребления, меняется лишь число поставок и интервалы между ними.

В общем случае экономическая эффективность процессов поставок будет тем выше, чем меньше фактические значения коэффициента запасов будут отклоняться от оптимальных величин, вычисленных по (5) и (9). Любые отклонения коэффициента запасов от $K_{\text{опт}}$, т. е. вариация коэффициента относительно среднего значения, приводят к дополнительным издержкам обращения, могут сопровождаться увеличением общего уровня запасов, снижают экономическую эффективность поставок.

2. Прогнозирование процессов формирования текущих и страховых запасов

В последнее время в развитых капиталистических странах, особенно в США, интенсивно ведутся научные изыскания по созданию эффективных систем управления запасами, что обусловлено непрерывным ростом последних.

Научное управление запасами в основном базируется на математической основе с использованием различных моделей и вычислительной техники. Так, в [3] упоминается о существовании 15 видов различных моделей управления запасами, причем указывается, что не все виды моделей получают применение в промышленности, часть находится в стадии развития, а некоторые пока не удалось использовать в экономике США. Наиболее широко в зарубежной практике применяются простейшие модели, например с фиксированным уровнем заказа, постоянного уровня запасов или запасов с двумя предельными уровнями.

Основными причинами, побуждающими к управлению запасами в капиталистической экономике, следует считать цикличность производства, изменение потребности во времени, колебание спроса и цен, неопределенность экономической конъюнктуры и др. [4].

Необходимо добавить, что перечисленные модели предусматривают управление и слежение за непрерывно изменяющимся текущим уровнем запасов при наличии транспортного запаздывания. В таких системах управления запасами обязательным условием нормального функционирования является незамедлительная реакция поставщиков продукции на запрос потребителя и точное исполнение его.

Возникла потребность в управлении запасами социалистического народного хозяйства, что обусловлено ростом величины совокупных запасов и сравнительно низкой надежностью материально-технического снабжения. Однако попытки решить задачу управления запасами на основе методов и моделей, пригодных для капиталистической экономики, пока не дали ощутимых результатов. Причина прежде всего кроется в непригодности большинства классических методов для решения этих задач применительно к социалистической экономике.

Низкая чувствительность поставщиков продукции к запросам потребителей, обусловленная отсутствием надлежащего уровня сбытовых запасов, а также неравномерность распределения запасов как в целом по системе, так и между отдельными потребителями приводят к резкому снижению степени управляемости совокупными запасами.

Управление запасами в социалистическом народном хозяйстве должно строиться на совершенно иных принципах, наиболее полно отражающих особенности и различия социалистической и капиталистической экономик.

Предлагаемая система управления запасами имеет следующие особенности. Управление и слежение должно осуществляться не за текущим уровнем запасов, а за средней величиной запасов в определенном интервале времени, управляющее воздействие должно осуществляться не для того, чтобы уровень запасов достиг заданного значения в настоящее время (разумеется, с учетом транспортного запаздывания), а с упреждением, так как исчисленная на основе прогноза средняя величина запасов способна обеспечить нормальное функционирование объекта в последующем периоде. Управление на основе прогноза с упреждением во времени исключает влияние таких факторов, как транспортное запаздывание и отсутствие должной реакции поставщика на запросы потребителей.

При управлении на основе прогноза некоторые вероятностные характеристики снабжения можно рассматривать как детерминированные, что намного упрощает процессы моделирования и реализацию моделей.

Теоретически любую партию поставки можно рассматривать как случайную величину, так что с известной степенью вероятности можно определить ее параметры. Возможен, однако, и другой подход. Если рассматривать не единичную партию поставки, а их совокупность, и определять основные статистические параметры ее, то становится проще предсказывать как параметры очередной поставки, так и тенденцию процесса в целом.

Качество прогноза можно повысить, если величину средних запасов разбить на ряд составляющих и прогнозирование осуществлять отдельно по каждой из них, а затем путем суммирования вычислить среднюю величину запасов в предстоящем периоде.

Очевидно, что как бы точен ни был прогноз, всегда будет существовать некоторое расхождение между предсказанной величиной запасов и их фактическим значением. В процессе осуществления прогноза это расхождение может быть изучено и с помощью методов теории вероятностей предсказано с большой точностью. Следовательно, всегда может быть исчислена и предусмотрена дополнительная величина запаса, гарантирующая от перебоев в снабжении из-за неточности прогноза.

Двухступенчатая система прогноза, когда на первой ступени с заданной точностью предсказывается уровень запасов в последующем периоде, а на второй корректируется возможная ошибка в прогнозе, обладает высокой степенью достоверности и может обеспечить управление запасами с достаточной надежностью. Процесс прогнозирования запасов может быть разбит на две стадии: первую, на которой определяется предыстория процесса, т. е. средний уровень запасов в предыдущих периодах, и вторую, когда устанавливается (предсказывается) уровень запасов в следующем периоде по данным за несколько прошедших.

Рассмотрим вначале способ определения уровня запасов по данным предыстории, а затем перейдем к способам осуществления прогноза текущих и страховых запасов.

Определим среднюю величину текущих запасов. Пусть в каком-нибудь прошедшем периоде T_i уровень текущих запасов, которые формируются в результате ряда поставок размером q_i, осуществленных через интервалы τ_i, а также в результате изъятий со склада величиной V_i, производившихся с интервалами t_i, можно изобразить в виде последовательности дискретных значений (рис. 1).

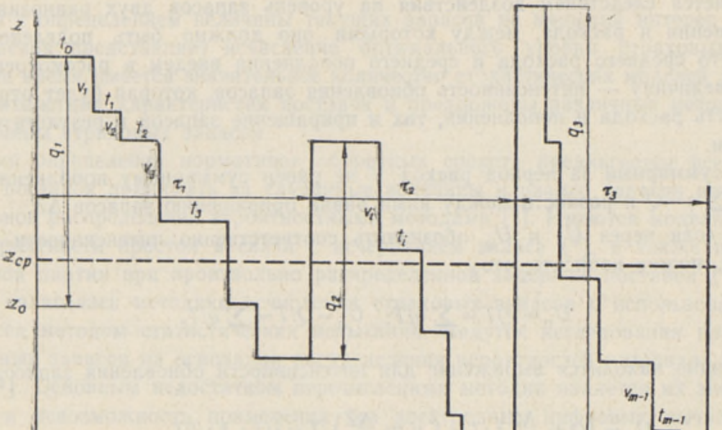

Рис. 1.

Тогда, если в начале периода уровень запасов был равен Z_0, величина средних за период запасов составит

$$Z_m = Z_0 + (\sum q_i \tau_i - \sum V_i t_i)/T_i. \tag{41}$$

Выражение (41) для вычисления средней величины текущих запасов в любом прошедшем периоде при произвольном характере пополнения и исчерпания запаса может быть использовано в случаях, когда к достоверности прогноза не предъявляются повышенные требования. Если нужна повышенная точность предсказания, то среднюю величину текущих запасов необходимо разложить на отдельные составляющие и предысторию каждой из них использовать для прогноза по отдельным составляющим с последующим их суммированием. Такой подход к прогнозу позволяет не только повысить его качество, но и более полно учесть тенденцию к изменению уровня запасов, а также использовать полученную информацию для управления.

Кроме того, для эффективного управления запасами на основании прогноза необходимо не только осуществлять слежение за уровнем запасов, но и знать, вследствие каких причин, за счет каких составляющих они изменяются. Поэтому рассмотрим способ разбиения среднего уровня совокупных запасов на составляющие для общего случая произвольных по величине и интервалам поставок и расхода, полагаемых дискретными.

В основу классической теории управления запасами положена математическая модель пополнения и расходования запаса, в которой принимается, что запас пополняется дискретными партиями, а расходуется непрерывно во времени, причем в большинстве случаев средний расход приравнивается к среднему во времени пополнению [3, 4, 5, 6].

Указанные допущения можно признать правомерными лишь для построения грубых моделей с приближенными вычислениями уровня запасов. Естественно, что усреднение расхода приводит к преднамеренному занижению уровня запасов, так как при этом не учитываются запасы, образующиеся в результате неравномерности потребления. К тому же на практике средний расход за определенный период редко совпадает со средним пополнением, что также вносит в вычисления погрешность.

Нами разработана модель совокупных запасов, свободная от указанных недостатков. Вследствие несовпадения между собой средних уровней пополнения и расхода к концу рассматриваемого периода величина текущих запасов возрастет (уменьшится) на размер приращения запасов (ΔZ). При этом правомерно предположить, что приращение является следствием воздействия на уровень запасов двух равнозначных причин, пополнения и расхода, между которыми оно должно быть поделено поровну. Тогда вместо среднего расхода и среднего пополнения введем в рассмотрение промежуточную величину — интенсивность обновления запасов, которая будет отражать как интенсивность расхода и пополнения, так и приращение запасов в результате разности между ними.

Пусть суммарный за период расход V не равен суммарному пополнению Q, т. е. $V=\sum v \neq \sum q=Q$ и разность между ними равна приращению запасов ΔZ.

Тогда, если через U_v и U_q обозначить соответственно интенсивности расхода и пополнения, можно написать, что

$$U_v=V/T=\sum v/T; \quad U_q=Q/T=\sum q/T.$$

Аналогично находится выражение для интенсивности обновления запасов U_Z:

$$U_Z=\left(Q\pm\frac{\Delta Z}{2}\right)/T=\left(V\mp\frac{\Delta Z}{2}\right)/T=(Q+V)/2T. \tag{42}$$

Выражение (42) показывает, что входящие в него значения пополнения и расхода транзитивны по отношению друг к другу. Это на первый взгляд формальное положение позволяет в модели совокупных запасов рассматривать пополнение независимо от расхода, а также исследовать процесс формирования запасов при изменении его последовательности, т. е. как со стороны входа, так и со стороны выхода системы.

Введение величины интенсивности обновления в модель совокупных запасов позволяет определить три составляющих запасов, формирующихся в результате пополнения, и три составляющих, которые возникают вследствие дискретности расхода.

Все шесть составляющих совокупных запасов могут быть определены по модели (1), если значение интенсивности пополнения заменить в ней на интенсивность обновления запасов U_Z. Тогда средняя величина текущих запасов, формируемых в результате пополнения, будет равна

$$Z_Q = \frac{q_{\text{ср}}}{2} + \frac{\sum (q_i - q_{\text{ср}})^2}{Q+V} + \frac{2\sum q_i z_i}{Q+V}. \tag{43}$$

Аналогично получим Z_V для средней величины текущих запасов, образующихся за счет дискретности и неравномерности расхода,

$$Z_V = \frac{v_{\text{ср}}}{2} + \frac{\sum (v_i - v_{\text{ср}})^2}{Q+V} + \frac{2\sum v_i z_i}{Q+V}. \tag{44}$$

Следует отметить, что последний член выражения (43) характеризует величину запасов, образующихся в результате опережения пополнений, т. е. поступления очередной партии в тот момент, когда запас от предыдущих еще не исчерпан целиком. Последний член выражения (44), наоборот, отражает процесс возникновения запасов вследствие расхода с опозданием, т. е. снижающего запас в меньшей мере, чем при среднем расходе. Экономический смысл остальных членов выражений (43) и (44) тождественен.

Разложение единого дискретного процесса поступления и расхода на шесть отдельных составляющих имеет значение не только для прогнозирования запасов, но и для исследования процесса формирования запасов вообще, например при определении оптимальных значений величин партий поставок и расхода, с учетом вариации их параметров.

Заканчивая рассмотрение процессов формирования текущих запасов, отметим, что сумма отдельных составляющих запасов по выражениям (43) и (44) равна величине запасов по выражению (41) без начального запаса Z_0, т. е.

$$Z_Q + Z_V = \left(\sum q_i \tau_i - \sum v_i t_i\right)/T. \tag{45}$$

Наряду с определением величины текущих запасов не меньший интерес для практики снабжения представляет исчисление оптимального уровня страховых запасов. В настоящее время имеется значительное количество стохастических моделей для вычисления вероятностных характеристик поставок и предложены различные методы определения величины страховых запасов.

Так, для определения нормативов оборотных средств предлагается все основные параметры поставок принимать за случайные величины и размер запасов исчислять на основе законов распределений вероятностными методами [7]. Имеются модели для определения вероятности простоя в связи с исчерпанием запаса [8], а также параметров заказываемой партии при произвольно распределенной задержке поставок [9].

В [10] излагалась методика исчисления страховых запасов с использованием случайных чисел методом статистических испытаний. Ведутся исследования по определению страховых запасов на основании распределения вероятностей интервала между поставками [2]. Основным недостатком перечисленных методик является их значительная сложность и невозможность применения без электронных цифровых вычислительных машин. Кроме того, некоторые из них предусматривают приближенное вычисление величины страховых запасов. Между тем промышленные предприятия и снабженческо-сбытовые организации испытывают потребность в сравнительно простой методике исчисления величины страховых запасов при помощи доступных вычислительных средств.

По нашему мнению, этим требованиям отвечает предлагаемая методика прогнозирования страховых запасов.

Допустим, что в нашем распоряжении имеются данные о поставках и расходе за прошлый период, которые осуществлялись дискретно, партиями произвольной величины и через интервалы, продолжительность которых варьирует в широких пределах. Пусть также определены величина средних за период запасов по модели (41) и максимальные отклонения фактического уровня запасов от среднего в большую и меньшую сторону

$(+\delta_{\max})$ и $(-\delta_{\max})$, т. е. размах вариационного ряда. Тогда не составит труда разделить величину размаха на произвольное число интервальных значений, совместив начало отсчета со средним уровнем запасов, и подсчитать количество отклонений от него, попавших в каждый интервал. Для примера на рис. 2 размах поделен на 18 равных интервалов, в том числе 10 интервалов в сторону увеличения запасов от среднего уровня и 8 в обратную, стрелками показана принадлежность положительных отклонений к интервалам с 9-го по 18-й.

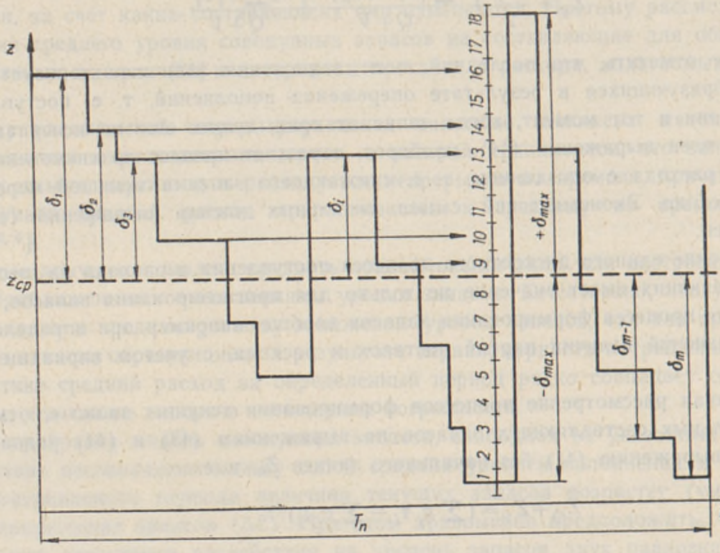

Рис. 2.

Количество отклонений от среднего уровня $\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_m$, попавших в различные интервалы, представляет собой исходный вариационный ряд для последующей статистической обработки, и по нему способом, изложенным в [11], могут быть исчислены математическое ожидание, дисперсии и среднее квадратическое отклонение (σ_Z).

Как показали исследования, величина отклонений фактического уровня запасов от среднего значения имеет нормальное или близкое к нему распределение вероятностей, что позволяет вычислить все основные статистические характеристики получающегося вариационного ряда. Под страховым запасом понимается предельное отклонение уровня запасов от среднего значения в меньшую сторону, рассчитанное как ожидаемое в будущем случайное событие, вероятность наступления которого нами задана, а статистические характеристики приняты такими же, какими они были в прошлом.

Так, задаваясь значением вероятности 0,997, полагаем, что из тысячи состояний уровня запасов отклонение только трех уровней от среднего значения может превысить допустимый предел, который в этом случае будет равен трем средним квадратическим отклонениям уровня запасов, имевшим место в прошлом. И, наоборот, если будет задан предел допустимых отклонений уровня запасов от среднего значения, например, равный двум средним квадратическим отклонениям, то этим будет определяться вероятность события, величина которого равна 0,954, означающая, что из общего количества отклонений некоторая доля (в данном случае 46 из 1000) не выйдет за пределы допустимого уровня.

Таким образом, определение страховых запасов сводится к исчислению среднего квадратического отклонения действительных уровней запаса в прошедшем периоде от его среднего значения и заданию допустимых пределов отклонения на основе принятой степени вероятности возможного предельного отклонения.

По-видимому, в практике снабжения достаточно будет ограничиться вероятностью допустимого отклонения в пределах 0,954—0,997, чему соответствует величина страхового запаса от двух до трех значений среднего квадратического отклонения, т. е.

$$Z_c = (2 \div 3)\,\sigma_Z. \tag{46}$$

Предлагаемый метод определения величины страховых запасов может быть использован для исчисления нескольких значений предыстории и последующего прогнозирования его уровня. Однако метод имеет самостоятельное значение и применим для планирования уровня страховых запасов в том случае, если статистические данные об отклонениях от среднего значения запасов в прошлом достоверны и позволяют вычислить с достаточной степенью точности основные характеристики вариационного ряда.

Кроме того, предлагаемый подход к определению уровня страховых запасов позволяет производить их деление на пропорциональные части, одна из которых может находиться у потребителя, а другая в виде централизованных запасов на снабженческо-сбытовых базах.

Указанное вытекает из того, что величины страховых запасов у отдельных потребителей можно рассматривать как независимые и случайные. А поскольку дисперсия их алгебраической суммы равна сумме дисперсий этих величин [11], то для централизованных запасов получим

$$Z_{\text{центр}} = \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2 + \ldots + Z_m^2}, \tag{47}$$

где Z_1; Z_2; Z_m — страховые запасы у отдельных потребителей. Выражение (47) иллюстрирует тот общеизвестный факт, что концентрация страховых запасов на снабженческо-сбытовых базах приводит к снижению их общей величины без снижения надежности материально-технического снабжения, а также дает им количественную оценку. Из (47) следует, что для группы из m равных потребителей величина концентрированных страховых запасов уменьшается пропорционально корню квадратному из числа потребителей, т. е.

$$Z_{\text{центр}} = Z_{\text{ед}}\sqrt{m}. \tag{48}$$

Вопрос о целесообразности концентрации страховых запасов обсуждается экономистами уже давно, однако реальные возможности к внедрению имеющихся рекомендаций в практику снабжения пока ограничены. По нашему мнению, это обусловлено недостаточной методологической и математической обоснованностью различных предложений.

Между тем в последнее время испытывается настоятельная необходимость в концентрации страховых запасов. Так, многими предприятиями Среднего Урала выдвинуто предложение 2—3% фондов и часть сверхплановой продукции передать органам снабжения для создания запасов на непредвиденные нужды [12]. Имеются и другие предложения, направленные на концентрацию мобильных запасов на базах Госснаба СССР [13].

Разделяя эти пожелания, мы предлагаем ввести принудительную систему концентрации страховых запасов. Приближенные вероятностные расчеты показывают, что концентрация страховых запасов у органов снабжения в полном объеме экономически не целесообразна, так как для этого пришлось бы примерно вдвое увеличить складской оборот. Если сконцентрировать на базах около половины страховых запасов, оставив другую половину на складах предприятий, то для этого понадобится перевести с транзитного снабжения на складское примерно 5—7% продукции массового потребления, поставляемой получателям транзитом. Потребители, переведенные на смешанное транзитно-складское снабжение, должны при этом иметь гарантии незамедлительного получения причитающейся им продукции со склада снабженческо-сбытовой организации по первому их требованию. С другой стороны, перевод 5—7% снабжения с транзитного на складское позволит органам снабжения иметь мобильные запасы и обеспечивать удовлетворение любых непредвиденных потребностей предприятий.

По мере внедрения предлагаемой системы концентрации страховых запасов и управления их уровнем на предприятиях можно будет установить оптимальные пропорции между долей концентрированных и рассредоточенных страховых запасов.

В заключение коротко остановимся на предлагаемой методике прогнозирования запасов.

Принцип прогнозирования различных процессов заключается в исследовании информации о протекании их в прошлом, нахождении математических зависимостей, наиболее полно отражающих тот или иной процесс, и распространении полученных закономерностей на ближайшую перспективу. Способы прогнозирования различных процессов весьма подробно изложены в [14], поэтому в данной статье целесообразно осветить лишь основные особенности метода прогнозирования запасов.

Предсказание уровня запасов предлагается осуществлять по каждой составляющей отдельно, что повышает достоверность прогноза. Прогнозирование следует совмещать со слежением за ошибкой, т. е. за величиной расхождения между прогнозируемой и фактически достигнутой. Ошибка прогноза рассматривается как случайная величина, для которой должны определяться все основные статистические характеристики и в первую очередь математическое ожидание и дисперсия.

Систему снабжения следует обеспечить повышенным по сравнению с прогнозируемым уровнем запасов, учитывая среднее квадратическое отклонение ошибки прогноза с тем, чтобы избежать возможных ошибок предсказания.

При реализации системы прогноза и слежения за уровнем запасов на ЭЦВМ имеется возможность предусмотреть в программе дополнительные алгоритмы по адаптации прогноза к возможным изменениям режима снабжения.

В качестве критерия оптимальности прогноза принимается минимум страховых запасов или издержек хранения.

Достоинство метода управления запасами на основе прогноза заключается в том, что на первой стадии осуществляется только прогноз и слежение за уровнем запасов, а действия по управлению не производятся. Позднее, когда достигнута желаемая точность и достоверность прогноза, на основе его принимаются соответствующие решения и начинается управление уровнем запасов.

Основное отличие предлагаемого метода прогнозирования заключается в способе экстраполирования прогнозируемой функции по методу наименьших квадратов.

При аппроксимации прогнозируемых функций наибольшее применение нашли интерполяционные формулы Ньютона, метод экспоненциального сглаживания и для случайных процессов формула А. Колмогорова [14], причем есть указание на то, что прогнозы, произведенные методом экспоненциального сглаживания и наименьших квадратов, существенно различаются между собой [15]. Имеются также сведения об успешном прогнозировании запасов на основе линейной аппроксимации по методу наименьших квадратов [3]. По нашему мнению, этот метод наиболее предпочтителен для предсказания запасов, особенно их усредненных значений.

Однако экстраполяция по методу наименьших квадратов сопряжена со значительными вычислительными трудностями, особенно при аппроксимации полиномами высших степеней. Поэтому была выведена формула и вычислены экстраполяционные коэффициенты, позволяющие исключительно простым способом находить значение прогнозируемой функции на один шаг вперед по методу наименьших квадратов.

Если имеются значения прогнозируемой функции за m прошедших периодов, т. е. известны Y_1; Y_2; Y_3; ... ; Y_m, то значение этой функции на один период вперед (Y_{m+1}) может быть найдено по формуле:

$$Y_{m+1} = \sum Y_i P_i / \sum P_i, \tag{49}$$

где P_1; P_2; ... ; P_m — соответствующие экстраполяционные коэффициенты, значения которых приведены в таблице для числа точек предыстории от трех до восьми. Для вычисления указанных коэффициентов автором по методу наименьших квадратов были выведены соответствующие уравнения, связывающие эмпирические значения функции, заданной таблично, с экстраполируемой функцией.

Экстраполяционные коэффициенты для нахождения точек прогноза по методу наименьших квадратов

Число точек экстраполяции	Степень полинома аппроксимации	Алгебраическая сумма коэффициентов	Коэффициенты экстраполирования							
3	1	3	−2	+1	+4					
	2	1	+1	−3	+3					
4	1	2	−1	0	+1	+2				
	2	4	+3	−5	−3	+9				
	3	1	−1	+4	−6	+4				
5	1	10	−4	−1	+2	+5	+8			
	2	5	+3	−3	−4	0	+9			
	3	5	−4	+11	−4	−14	+16			
6	1	15	−5	−2	+1	+4	+7	+10		
	2	10	+5	−3	−6	−4	+3	+15		
	3	3	−2	+4	+1	−4	−4	+8		
7	1	7	−2	−1	0	+1	+2	+3	+4	
	2	7	+3	−1	−3	−3	−1	+3	+9	
	3	7	−4	+6	+4	−3	−8	−4	+16	
8	1	56	−14	−8	−2	+4	+10	+16	+22	+28
	2	56	+21	−3	−17	−21	−15	+1	+27	+63
	3	56	−28	+32	+32	0	−36	−48	−8	+112

Количество значений функции за прошлый период времени, учитываемое при прогнозе, существенно влияет на достоверность предсказания и зависит от характера процесса. По данным [14], для некоторых прогнозов наименьший уровень среднеквадратичной ошибки был получен при выборе количества точек предыстории от трех до шести. Определенное влияние на точность прогноза оказывает выбор степени аппроксимирующего полинома, с увеличением которой точность предсказания не возрастает и может даже снижаться.

Степень полинома нужно выбирать, исходя из условия наилучшего соответствия математической зависимости характеру прогнозируемого процесса, для большинства процессов снабжения она может быть не выше второй.

Рассмотрим применение предлагаемой методики на примере, данные для которого взяты из [16], где по восьми значениям процента брака рельсов при испытаниях для равноотстоящих значений, составивших 15,38; 7,27; 4,38; 3,16; 2,93; 4,33; 4,99; 8,22, методом наименьших квадратов было получено следующее корреляционное уравнение:

$$Y = 25{,}15 - 12{,}11x + 2{,}0033x^2 - 0{,}09515x^3.$$

Подставляя значение $x=9$, получим величину искомой функции в девятой точке $Y_9 = 9{,}13$.

Определим теперь значение экстраполируемой функции предлагаемым методом, для чего выберем по таблице коэффициенты, соответствующие числу исходных точек функции, равному восьми, и степени аппроксимирующего полинома, равной трем:

$$P_{1-8} = -28,\ +32,\ +32,\ 0,\ -36,\ -48,\ -8,\ +112.$$

После умножения коэффициентов на соответствующие значения функции во всех восьми точках и суммирования получим величину 516,56, которую разделим на алгебраическую сумму всех коэффициентов, равную 56 (значение алгебраических сумм коэффициентов также приведено в таблице).

Окончательно получим

$$Y_9 = \sum_{1}^{8} Y_i P_i / \sum P_i = 516{,}56/56 = 9{,}22.$$

Как видно из приведенных данных, результаты вычислений, произведенных различными методами, совпадают, и ошибка округлений не превышает 1%.

Есть основания полагать, что предложенный метод прогнозирования запасов окажется эффективным инструментом исследования процессов поставок и позволит управлять процессами материально-технического снабжения как в сфере потребления, так и в сфере обращения продукции.

Выводы

1. Установлено, что вариация параметров поставок оказывает существенное влияние на процессы формирования совокупных запасов и издержек обращения, которые взаимосвязаны простым соотношением и могут быть выражены через коэффициенты вариации.

2. Построены математические модели для определения величины партий поставки и их числа при вариации параметров поставок.

3. Предложена методика прогнозирования уровня текущих и страховых запасов с адаптацией и внесением корректив в прогноз по данным о его достоверности в прошлом.

4. Предложен оригинальный метод экстраполяции прогнозируемой функции по способу наименьших квадратов с использованием исчисленных автором коэффициентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Фелициус, Исследование экономических процессов поставок. I. Моделирование, оптимизация, управление. Изв. АН ЭССР, обществ. науки, 1969, XVIII, № 2, стр. 153—163.
2. В. Живаго, О факторах, влияющих на нормы страхового запаса. Материально-техническое снабжение, 1966, № 5, стр. 25—29.
3. Д. Букан, Э. Кенисберг, Научное управление запасами. М., 1967.
4. Ф. Хенссменн, Применение математических методов в управлении производством и запасами. М., 1966.
5. А. Важоньи, Научное программирование в промышленности и торговле. М., 1963, стр. 199—200.
6. О. Ланге, Оптимальные решения. М., 1967.
7. П. Г. Бунич, В. Л. Перламутров, Л. Х. Соколовский, Модель движения производственных запасов в натуральном и денежном выражении. Экономика и математические методы, 1969, № 1, стр. 46—54.
8. В. Л. Носов, Н. В. Святская, Некоторые задачи оптимального управления запасами. Экономика и математические методы, 1959, № 5, стр. 55—62.
9. Ю. И. Рыжиков, О задаче управления запасами для произвольно распределенной задержки поставок. Изв. АН СССР. Техническая кибернетика, 1968, № 1, стр. 23—32.
10. Ю. Любович, Регулирование запасов. Материально-техническое снабжение, 1966, № 2, стр. 71—80.
11. И. Г. Венецкий, Г. С. Кильдишев, Основы математической статистики. М., 1963, стр. 168—177.
12. Я. Рябов, Предприятие и снабжение. Материально-техническое снабжение, 1968, № 7, стр. 1—7.
13. Е. Максимчук, Рациональное размещение запасов. Материально-техническое снабжение, 1968, № 4, стр. 23—29.
14. А. Г. Ивахненко, В. Г. Лапа, Кибернетические предсказывающие устройства. Киев, 1965.
15. А. Д. Смирнов, К проблеме оптимального экономического прогнозирования. Экономика и математические методы, 1966, № 5.
16. А. К. Митропольский, Техника статистических вычислений. М., 1960, стр. 345—348.

Институт экономики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
7/III 1969

G. FELICIUS

HANKEPROTSESSIDE ÖKONOOMIKAST
II. VARUDE KUJUNEMINE JA PPROGNOOSIMINE PARAMEETRITE VARIEERIMISE KORRAL

Resümee

Käsitletakse varude kujunemist hangete suuruse ja saabumisaja varieerimise korral ning esitatakse valemid nende optimiseerimiseks.

Esitatakse uus meetod, mis võimaldab ekstrapoleerida protsessi kulgemist lähemas tulevikus vähemruutude meetodil, kasutades tasandatud koefitsiente.

Jooksvate ja kindlustusvarude prognoosimiseks soovitatakse lihtsat metoodikat, kusjuures resultaati on sisse viidud selle eelnevat täpsust arvestavad korrektiivid.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Majanduse Instituut

Saabus toimetusse
7. III 1969

G. FELICIUS

ON THE ECONOMICS OF PURCHASING PROCESSES
II. THE FORMATION AND ENVISAGING OF RESERVES IN CASE OF VARYING SUPPLIES

Summary

The author deals with the process of the formation of reserves in case of the supplies varying in size and dates of delivery, and presents formulas for their optimation.

An original way is described, which enables to predict the process in a short run, on the basis of the method of smallest squares, making use of levelled coefficients.

A simple method is proposed for envisaging the current and insurance reserves with an inclusion, into the final result, of the correctives warranting its accuracy.

Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Institute of Economics

Received
March 7, 1969