

STATISTICAL METHODS IN CALCULATING SAFETY STOCKS

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА СТРАХОВЫХ ЗАПАСОВ

Сергей АРХИПОВ,
Одесский национальный
экономический университет



Sergiy ARKHIPOV,
Odessa National
Economic University

Управление запасами представляет собой одну из важнейших и ответственных функций в логистике. С одной стороны, запасы необходимы для обеспечения жизнедеятельности предприятия и его производственных возможностей. С другой стороны, запасы являются весьма дорогостоящим активом, который «оттягивает» на себя значительные финансовые ресурсы. Считается, что доля запасов в совокупных активах предприятия в среднем составляет около 20% [1, с. 283], а в общих расходах на логистику приходится 40% [9]. В этой связи оптимизация запасов и повышение эффективности управления ими остаются актуальными задачами логистического менеджмента и представляют собой мощный инструмент повышения конкурентоспособности предприятия.

Предназначение и роль запасов находят достаточно полное и подробное освещение в работах зарубежных и отечественных авторов. Вместе с тем обнаруживается отсутствие унификации понятийного аппарата, ведущее порой к различному толкованию одних и тех же терминов. Для специалиста-практика недостаточно четко прописаны алгоритмы действий по формированию политики запасов и ключевые критерии ее эффективности. В статье предпринимается попытка преодолеть имеющиеся трудности, связанные с особенностями перевода англоязычной литературы и использованием статистических подходов в обосновании применения тех или иных моделей в управлении запасами.

Управление запасами или политика управления запасами в общем виде заключается в принятии решений относительно того, запасы каких материальных средств, в каких количествах и к какому сроку создавать на предприятии в соответствии с его маркетинговыми планами.

Схематично этот процесс представлен на **рис. 1**.

Политика управления запасами предполагает, что запасы создаются, расходуются и пополняются несколько раз в течение года. Прежде всего решается вопрос о том, какой уровень запаса необходимо создать на предприятии, чтобы минимизировать совокупные издержки и избежать возможности дефицита. Для этого рассчитывается оптимальный размер заказа (**EOQ**) (*Economic Order Quantity*) (**рис. 2**), который и является текущим запасом (**CS**) (*Cycle Stock*) предприятия, предназначенным для удовлетворения прогнозируемого спроса ($EOQ=CS$).

Расчет оптимального размера заказа производится по формуле Харриса-Уилсона:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 * D * r}{h}}, \quad (1)$$

где r (*request*) – стоимость размещения одного заказа,

h (*holding*) – стоимость хранения единицы запаса в течение года,

D (*Demand*) – годовой объем спроса.

Период времени, в течение которого расходуется текущий запас, называется **циклом запаса** (**R**) («*replenishment performance cycle*» [1, с. 287]), он рассчитывается по формуле:

В статье рассмотрены проблемные вопросы, связанные с формированием политики управления запасами предприятия и применения на практике статистических методов при расчете страховых запасов в условиях нестабильности спроса и действий поставщиков. Проанализированы неточности в толковании отдельных терминов и определений, предложены пути их унификации и корректного использования.

The article deals with the problematic issues related to policy-making inventory management of the enterprise and practical application of statistical methods for the calculation of safety stocks in conditions of instability in demand and the actions of suppliers. The errors in the interpretation of certain terms and definitions are analyzed and ways of their harmonization and proper use are offered.

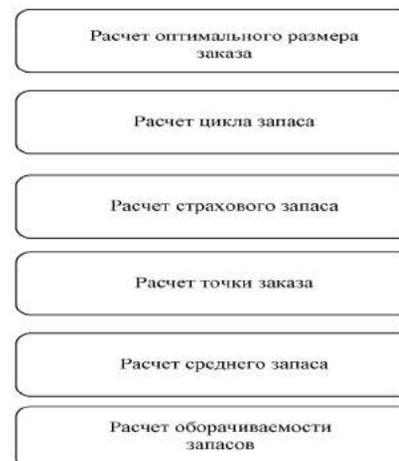
$$R = \frac{EOQ}{\bar{d}} \quad (2)$$

или

$$R = \frac{EOQ}{D} * n, \quad (3)$$

где \bar{d} (*average demand*) – средний дневной спрос,
 D (*annual demand*) – общий годовой спрос,
 n (*number*) – количество рабочих дней в году.

Рис. 1. Порядок формирования политики управления запасами



В период цикла запаса организуется пополнение материальных средств. Для этого в определенный момент времени производится размещение заявки на поставку заказа. Этот момент времени называется **точкой заказа** (**ROP**) (*Request Order Point*) и рассчитывается по формуле:

$$ROP = \bar{d} * L, \quad (4)$$

где L (*Lead-time*) – **срок поставки** (время выполнения заказа поставщиком) или **цикл заказа**. В условиях постоянного спроса и постоянного срока поставки создания дополнительных запасов, кроме текущего, не требуется.

В таком случае средний запас (**AS**) (*Average Stock*) будет равен половине текущего запаса:

$$AS = CS / 2, \quad (5)$$

а коэффициент оборачиваемости запасов (**IT**) (*Inventory Turn*) составит:

$$IT = D / AS. \quad (6)$$

Рис. 2. Основные расчетные показатели в управлении запасами

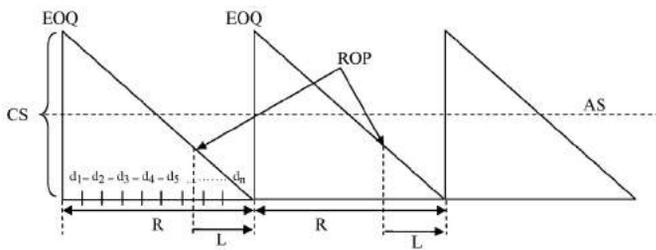
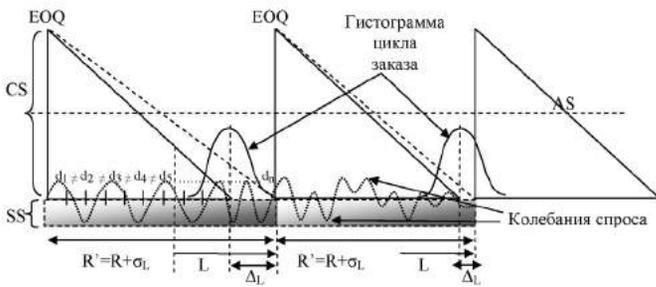


Рис. 3. Создание страховых запасов для защиты от неопределенности



В условиях защиты от неопределенности на предприятии создаются страховые запасы (SS) (Safety Stocks). В теории управления запасами рассматриваются два вида неопределенности: спроса и сроков поставки. Колебания спроса вызваны покупательским поведением, и задачей логистики является прогнозирование спроса с целью оптимизации запасов. Неопределенность в сроках поставки отражает реальную рыночную ситуацию, в которой поставщику часто бывает практически невозможно гарантировать постоянство в выполнении цикла заказа (сроков поставки).

Таким образом, с целью защиты от неопределенности рассматриваются три ситуации и создаются страховые запасы:

1. Ситуация, когда спрос является непостоянным ($d - variable$), а срок поставки постоянным ($L - constant$).
2. Ситуация, когда спрос является постоянным ($d - constant$), а срок поставки непостоянным ($L - variable$).
3. Ситуация, в которой и спрос, и срок поставки непостоянны ($d - variable, L - variable$).

Условия создания страховых запасов и исходные данные для их расчета представлены на рис. 3.

В первой ситуации, когда срок поставки является постоянным, пополнение запаса совпадает с окончанием цикла запаса. Другими словами, в тот момент, когда запас расходуется полностью (в последний день цикла), происходит его пополнение до первоначального уровня, равного объему оптимального заказа. В этом случае функциональный цикл запаса остается также постоянным на протяжении года.

Поскольку покупательское поведение в обычных условиях формируется под влиянием случайных факторов, то показатели спроса (объемов продаж) можно рассматривать как величины, подчиняющиеся нормальному распределению, и применять для их оценки и прогнозирования статистические приемы.

Так, колебания спроса могут быть рассчитаны как стандартное отклонение по формуле:

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \quad (7)$$

Поскольку дисперсия спроса (Var_d) за весь период R (функциональный цикл запаса) составит:

$$Var_d = Var(D) * R, \quad (8)$$

Таблица. Значения z-коэффициентов, соответствующие некоторым уровням обслуживания клиентов, устанавливаемых в логистике

Уровень сервиса, %	z	Уровень сервиса, %	z	Уровень сервиса, %	z
70	0,524	80	0,842	90	1,282
71	0,553	81	0,878	91	1,341
72	0,583	82	0,915	92	1,405
73	0,613	83	0,954	93	1,476
74	0,643	84	0,994	94	1,555
75	0,674	85	1,036	95	1,645
76	0,706	86	1,08	96	1,751
77	0,739	87	1,126	97	1,881
78	0,772	88	1,175	98	2,054
79	0,806	89	1,227	99	2,326

то общее (суммарное) стандартное отклонение спроса за этот период:

$$\sigma_{sum} = \sigma_d * \sqrt{R}. \quad (9)$$

Таким образом, страховой запас в данной ситуации составит:

$$SS = z * \sigma_d * \sqrt{R}, \quad (10)$$

где z – нормированная величина, отражающая количество стандартных отклонений от среднего значения при заданном доверительном уровне. В политике управления запасами таким доверительным уровнем является уровень обслуживания покупателей (клиентов), который означает вероятность наступления дефицита вследствие отсутствия запаса на складе в момент, когда он будет востребован.

Так, при 95% уровне обслуживания (сервиса), предполагается возможность наступления дефицита в пяти случаях из ста, что практически исключает такую возможность. В свою очередь данному уровню будет соответствовать z-значение, равное 1,64 согласно данным таблицы нормального распределения (см. табл.).

В ситуации №2 цикл запаса может оказаться больше расчетного на величину задержки в сроках поставки. Отклонения в сроках поставки (цикла заказа) могут быть вызваны причинами, независимыми от поставщика. При перевозках на большие расстояния железнодорожным или морским транспортом возможны задержки в пути. Пересечение таможенной территории различных государств и дальнейшее оформление прохождения грузов во внешнеэкономической деятельности может быть осложнено различными обстоятельствами. В ряде случаев работа автомобильного транспорта оказывается под влиянием сезонного фактора времени года. Эти и другие риски закладываются в условия договора между сторонами и учитываются в политике управления запасами.

Колебания в сроках поставки могут быть также рассчитаны как стандартное отклонение. Поскольку спрос во время цикла запаса является постоянным, то необходимы страховые запасы только на период, равный стандартному отклонению сроков поставки. Поскольку спрос в этот период будет зависеть от дисперсии поставок (Var_L), то его можно рассчитать по формуле:

$$Var_L = d * Var(L) \quad (11)$$

или в величинах стандартного отклонения:

$$d_{sum} = d * \sigma_L. \quad (12)$$

При этом стандартное отклонение рассчитывается:

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{\sum (\Delta_L)^2}{n-1}}, \quad (13)$$

где Δ_L – отклонение в сроках поставки, а страховой запас соответственно:

$$SS = z * d * \sigma_L. \quad (14)$$

В третьей ситуации рассматривается комбинация факторов неопределенности спроса и сроков поставки. В этом случае общая неопределенность может быть представлена как сумма указанных рисков. Поскольку увеличение сроков поставки (L) одновременно увеличивает функциональный цикл запаса (R) на величину, равную σ_L , то страховой запас также должен «перекрывать» этот отрезок времени.

Фактически необходимо рассмотреть новый цикл запаса R' :

$$R' = R + \sigma_L. \quad (15)$$

Воспользовавшись правилом сложения дисперсий, получаем уравнение:

$$Var_{sum} = Var_d + Var_{R'}, \quad (16)$$

$$Var_d = \sigma_d^2 * R', \quad (17)$$

где V_d – дисперсия спроса за функциональный цикл запаса (R'); и

$$Var_{R'} = d^{-2} * \sigma_L^2, \quad (18)$$

где V_R – средний спрос за период, равный дисперсии сроков поставки (L).

Таким образом,

$$Var_{sum} = \sigma_d^2 * R' + d^{-2} * \sigma_L^2, \quad (19)$$

стандартное отклонение составит:

$$\sigma_{sum} = \sqrt{\sigma_d^2 * R' + d^{-2} * \sigma_L^2}, \quad (20)$$

а страховой запас будет равным:

$$SS = z * \sqrt{\sigma_d^2 * R' + d^{-2} * \sigma_L^2} \quad (21)$$

или

$$SS = z * \sqrt{\sigma_d^2 * (R + \sigma_L) + d^{-2} * \sigma_L^2}. \quad (22)$$

Учитывая, что страховой запас является частью общего запаса предприятия, включающего также текущий запас, расчет общего запаса TS (Total Stock), иногда называемого целевым запасом, в условиях неопределенности спроса и сроков поставки производится по формуле:

$$TS = CS + SS = d * R + z * \sqrt{\sigma_d^2 * (R + \sigma_L) + d^{-2} * \sigma_L^2}. \quad (23)$$

При создании страховых запасов точка заказа (ROP) будет рассчитываться по формуле:

$$ROP = d * L + SS. \quad (24)$$

а средний запас составит:

$$AS = CS / 2 + SS. \quad (25)$$

Следует отметить, что хотя цикл запаса (R) и цикл заказа (L) измеряются в одинаковых величинах (днях или неделях) и на рисунках 1 и 2 отображаются вместе, они имеют разную «природу» и не всегда влияют друг на друга. В частности, это происходит оттого, что цикл запаса зависит от решения логистического менеджмента предприятия, а цикл заказа – от действий поставщика. Если цикл заказа выполняется в период времени, когда цикл запаса еще не завершен или точно в срок, то его величина (срок поставки) вообще не влияет на размер страховых запасов, которые создаются на весь цикл запаса.

Необходимость создания *дополнительных* страховых запасов к уже существующим появляется только в ситуациях, когда цикл запаса увеличивается в результате «запаздывания» в сроках поставки. В этом случае необходимо учесть средний дневной спрос и его стандартное отклонение на этот период «запаздывания» (σ_L), что и находит свое отображение в формуле 22.

Статистический подход в расчете уровня страховых запасов достаточно популярен среди специалистов по логистике и предоставляет возможность получения вполне приемлемых результатов. Вместе с тем важнейшим условием его применения является корректное использование терминов и определений теории управления запасами.

Так, цикл запаса в англоязычной литературе носит название «replenishment cycle» [4, с. 139; 1, с. 302], что в переводе означает «цикл пополнения». В работе «Логистика: интегрированная цепь поставок» встречается следующее рассуждение: «...Неопределенность функционального цикла (цикла исполнения заказа) означает, что политику управления запасами нельзя строить на предпосылке бесперебойности поставок» [2, с. 252]. Нужно быть очень осторожным в использовании терминов «цикл пополнения запаса» и «цикл исполнения заказа», так как для отечественных специалистов по логистике они несут одинаковую смысловую нагрузку, в результате чего происходит смешение понятий. Тем более что в переводной литературе понятия «функциональный цикл» и «цикл исполнения заказа» также оказались отождествленными, что, на самом деле, не соответствует действительности.

Более того, **Дональд Уотерс** в своей работе «Logistics» совершенно четко идентифицирует срок поставки L (lead-time), как «... time between placing the order and having materials arrive in stock» [3, с. 262], правомерно используя его в последующем при расчете точки заказа. Вместе с тем расчет страхового запаса по формуле $SS = z * \sigma_d * \sqrt{L}$ [3, с. 268] не является убедительным, поскольку не учитывает цикл запаса (replenishment cycle).

В этой ситуации совершенно необходимо дать четкие определения некоторых понятий в управлении запасами и установить правила их применения. Так, мы считаем, что *циклом запаса (или функциональным циклом запаса) следует считать период времени, в течение которого происходит расходование созданного на предприятии запаса материальных средств*. В этот же период происходит размещение заказа на пополнение запасов и осуществляется их непосредственное пополнение (поставка). Вследствие характерных операций пополнения запасов и в целях унификации терминов предлагается его условное обозначение R (Replenishment).

Циклом заказа (циклом исполнения заказа) в свою очередь называется период времени, в течение которого поставщик осуществляет непосредственное выполнение поставки материальных средств получателю. Срок поставки обозначается L (Lead-time) и включает в себя не только транспортировку, но и операции, связанные с подготовкой заказа и всесторонним обеспечением его выполнения.

Использование указанных рекомендаций в практической работе логистики, на наш взгляд, повысит качество формирования политики управления запасами на предприятии и существенно повлияет на укрепление его конкурентоспособности в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Donald J. Bowersox, David J. Closs. Supply Chain Logistics Management. – McGraw-Hill, 2002.
2. Бауэрсокс Дональд, Клосс Давид. Логистика: интегрированная цепь поставок. – М.: Олимп-бизнес, 2005.
3. Waters Donald. Logistics. An Introduction to Supply Chain Management. – Palgrave macmillan, 2003.
4. Douglas M. Lambert, James R. Stock. Fundamentals of Logistics Management. – McGraw-Hill, 1997.
5. Стивенсон Уильям Дж. Управление производством. – М., 1999.
6. Окландер М.А. Логистика. – Київ, 2008.
7. Стерлигова А.Н. Управление запасами в цепях поставок. – Москва: Инфра-М, 2008.
8. Лукинский В.С. Модели и методы логистики. – СПб., Питер, 2007.
9. Баскин А.И. Управление материальными потоками и нормирование запасов // Логистика. – №1(10), 29-30 (2000).