

СИГНАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ В ЗАДАЧЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ПОПОЛНЕНИЯ СКЛАДА

Б.М. Кувшинов

Рассматривается многокритериальная задача оптимизации управления пополнением складских запасов предприятия. Определены риски, возникающие в результате неточного и незаблаговременного определения будущего спроса. Предложена двухуровневая система фильтрации, которая позволяет минимизировать указанные риски при ограниченной пропускной способности ЛПП.

Ключевые слова: управление запасами; поддержка принятия решений; многокритериальная оптимизация.

Задача заблаговременного пополнения складских запасов, покрывающих детерминированный или прогнозируемый спрос, типична для предприятий самых разных сфер деятельности, имеющих дело с материальными запасами [1–3]. Объем и время возникновения потребностей определяется графиком отгрузки запасов контрагентам или их использования в собственном производстве. Необходимость же заблаговременного пополнения склада диктуется временными задержками в логистической цепочке [4]. Эти задержки включают время на агрегирование потребностей плановым отделом, поиск необходимых товаров у поставщиков, собственно время доставки на склад, время документального приходования и фактической приемки товара, время контроля качества и размещения поступивших запасов на складе и т.п.

В таких условиях возникает конфликт интересов потребительского и снабженческого подразделений внутри предприятия (например, отдела продаж и отдела закупа). С точки зрения потребительского подразделения, момент определения или прогнозирования потребностей t_{Π} должен быть как можно ближе к моменту отгрузки t_C . Это позволяет максимально точно определять график отгрузки. С точки зрения снабженческого подразделения, напротив, моменты отгрузки t_{C1}, t_{C2}, \dots должны быть известны как можно более заблаговременно. Это позволяет обеспечить своевременное поступление запасов на склад.

На уровне предприятия такой конфликт решается регламентно: определяется некоторый нормативный минимальный срок T до наступления момента желаемой отгрузки, за который должны быть определены потребности, т.е.:

$$t_{\Pi} \leq t_c - T. \quad (1)$$

Однако реальные возможности подразделения-потребителя по заблаговременному определению своих потребностей могут различаться от случая к случаю, что приводит к ошибкам в оценке объемов и графика потребления. Соответственно, активированная логистическая цепочка пополнения приводит к появлению излишков или нехватке запасов. Если номенклатура потребляемых запасов достаточно узкая, а спрос имеет высокую частоту – эти отклонения демпфируются и не приносят предприятию потерь. Если же номенклатура запасов широкая, а спрос на них имеет нерегулярный характер, то ситуации преждевременного / избыточного и опаздывающего / недостаточного пополнения склада связаны с реальными убытками. Избыточный запас означает перерасход складских площадей и финансовых ресурсов, «замороженных» в запасах. Нехватка запаса приводит к потере спроса, либо к задержке дальнейшего производственного процесса подразделения-потребителя. В худшем случае предприятие получает запас, вообще не обеспеченный спросом, и вынуждено избавляться от него с потерей стоимости (частичной – если запас может быть продан по заниженной цене, либо полной – если перепродажа запаса невозможна). Таким образом, оценка риска неликвидности приобретаемого запаса при неточном определении будущих потребностей – важнейшая составляющая задачи планирования пополнения склада.

Будем рассматривать задачу планирования в следующем виде. Для данной номенклатурной позиции имеется некоторая история спроса $x(t)$, $t=t_{\Pi}, t_{\Pi-1}, t_{\Pi-2}, \dots$, планируемые будущие потребности $x(t)$, $t=t_{C1}, t_{C2}, \dots$, и текущий объем складского запаса $z(t_{\Pi})$. Формальная процедура планирования по потребностям требует запустить логистическую цепочку пополнения запаса в объеме r к моменту времени $(t_{\Pi}+\tau)$. Необходимо оценить риск неликвидности возникающих запасов в случае, если планируемые будущие потребности $x(t)$, $t=t_{C1}, t_{C2}, \dots$, не реализуются, а потребление запаса продолжится согласно тем же закономерностям, которые наблюдаются в истории спроса $x(t)$, $t=t_{\Pi}, t_{\Pi-1}, t_{\Pi-2}, \dots$.

Отметим несколько принципиальных моментов.

1. Детали процедуры планирования по потребностям в данном случае не важны: она может группировать спрос, возникший по нескольким отдельным потребностям, опираться на какие-либо алгоритмы прогнозирования, фазировать пополнение запасов во времени и т.д. [1–4]. В любом случае, результатом применения этой процедуры является только объем r и время $(t_{\Pi}+\tau)$ ожидаемого пополнения запаса.

2. Уже существующий запас $z(t_{\Pi})$ и ожидаемое поступление $r(t_{\Pi}+\tau)$ имеет смысл рассматривать в сумме – как объем запаса, к которому применяется фактор риска исчезновения потребности $x(t)$, $t=t_{C1}, t_{C2}, \dots$.

3. Окончательное решение об исполнении или неисполнении решения процедуры планирования или об изменении объема пополнения желатель-но делегировать ЛПР (специалисту отдела планирования). Он сможет учесть дополнительные факторы риска, не представленные в формальной модели планирования: документально подтвержденные гарантии исполне-ния планируемой потребности $x(t)$, $t=t_{c1}, t_{c2}, \dots$, ликвидность запаса с точ-ки зрения его потребительских свойств и т.п. При этом возможны различ-ные ситуации:

а) если количество планируемых позиций мало и все они могут быть содержательно проанализированы ЛПР – в формализации понятия «риск неликвидности» нет необходимости;

б) если количество планируемых позиций так велико и/или требуемая скорость планирования так высока, что участие ЛПР в анализе исключено – формализация понятия «риск неликвидности» должна полностью заменять аналитические функции ЛПР;

в) если имеет место промежуточная ситуация – то понятие «риск нели-квидности» можно выразить в виде сигнальной (логической) переменной; тогда потребности в пополнении, признанные «низкорисковыми», переда-ются в исполнение без участия ЛПР, а потребности, признанные «высоко-рисковыми», передаются на обработку ЛПР.

Последний случай, когда через ЛПР передается только часть потока по-требностей в пополнении, можно обеспечить следующим образом.

1. На основании истории спроса $x(t)$, $t=t_{\Pi}, t_{\Pi-1}, t_{\Pi-2}, \dots$, с помощью не-которой интерполирующей модели Φ , строится аппроксимация $g=\Phi(t)$, $t=t_{\Pi}, t_{\Pi-1}, t_{\Pi-2}, \dots$ истории спроса.

2. Элементы временного ряда $x(t)$, $t=t_{\Pi}, t_{\Pi-1}, t_{\Pi-2}, \dots$, отклонение кото-рых от построенной аппроксимации $g=\Phi(t)$ выше некоторого порога, ис-ключаются из временного ряда (т.е. формируется новый, укороченный от-фильтрованный временной ряд $x(t)$, $t=t_{\Pi}, t_{\Pi-1}, t_{\Pi-2}, \dots$

3. На основании отфильтрованного временного ряда, с помощью неко-торой модели прогнозирования F , строится прогноз дальнейшего потреб-ления $f=F(t)$ $t=t_{\Pi+1}, t_{\Pi+2}, \dots$

4. Вычисляется величина:

$$L = (z(t_{\Pi}) + r(t_{\Pi} + \tau)) / \sum_{t=t_{\Pi}+\tau}^{t_{\Pi}+\tau+D} F(t). \quad (2)$$

Это прогнозируемая оборачиваемость ожидаемых запасов, выраженная в кол-ве временных интервалов продолжительности D).

5. Величина L сравнивается с некоторым пороговым значением $L_{\text{крит}}$. На ручную обработку ЛПР передаются только позиции, для которых $L > L_{\text{крит}}$.

Шаги (1)–(3) – это стандартная робастная процедура прогнозирова-ния, однако выбор ее параметров обладает спецификой. Дело в том, что максимальная точность прогнозирования не является целью данной проце-дуры. Рассмотрим постановку задачи оптимизации значений парамет-

ров, которая более точно отражает экономическую сущность задачи планирования пополнения запаса.

Стандартным образом обозначим:

– $S_{10}(i)$ – «пропуск цели» на i -й номенклатурной позиции, т.е. ситуацию, когда позиция должна была попасть в ручную обработку ЛПП, но была автоматически оценена как «низкорисковая»;

– $S_{01}(i)$ – «ложное срабатывание» на i -й номенклатурной позиции, т.е. ситуацию, когда позиция была оценена как «высокорисковая», но ручная обработка ее ЛПП оказалась излишней.

Аналогичным образом используем обозначения $S_{00}(i)$, $S_{11}(i)$, где первый индекс определяет фактическую необходимость в ручной обработке позиции ЛПП, а второй индекс – результат автоматической оценки риска.

Для множества обрабатываемых номенклатурных позиций I $|\{S_{01}(i), i \in I\}|$ – это количество ситуаций «пропуска цели», которые повлекут за собой финансовые потери, а $|\{S_{10}(i), i \in I\}| + |\{S_{11}(i), i \in I\}|$ – это общее количество ситуаций, которые будут переданы на ручную обработку ЛПП. Таким образом, задача оптимизации по параметрам D , $L_{\text{крит}}$ для описанной выше процедуры вычисления сигнальных переменных имеет вид:

$$\begin{aligned} |\{S_{01}(i), i \in I\}| &\rightarrow \min, \\ |\{S_{10}(i), i \in I\}| + |\{S_{11}(i), i \in I\}| &\leq S_{\max}, \end{aligned} \quad (3)$$

где S_{\max} – предельная пропускная способность ЛПП (количество номенклатурных позиций, которое он может проанализировать на одном шаге планирования).

Решение задачи (3) позволит при ограниченной пропускной способности ЛПП выполнить максимальное количество «полезных» обработок.

Наиболее сложная задача в рамках такой процедуры – оценить значение первого индекса в $S_{xy}(i)$ для каждой номенклатурной позиции. Здесь можно полностью повторить шаги (4)–(5) описанной выше процедуры, но относительно фактической а не прогнозируемой оборачиваемости:

$$L' = (z(t_{\Pi}) + r(t_{\Pi} + \tau)) / \sum_{t=t_{\Pi}-D}^{t_{\Pi}} x(t). \quad (4)$$

Теперь для решения задачи (3) достаточно воспользоваться переборной процедурой: проверив всевозможные сочетания значений параметров по конечной сетке. В пользу отказа от аналитического или итерационного решения задачи оптимизации говорят следующие факторы.

1. Аналитическая процедура неизбежно привела бы к вероятностным допущениям относительно стационарности спроса. Для широкой номенклатуры запасов, когда отдельные позиции могут иметь в истории лишь 1–2 события потребления, а также являются частичными заменителями, нет никаких оснований для таких допущений.

2. Оценку параметров можно проводить с фиксированной периодичностью, например 1 раз в месяц. Вычислительная сложность перебора не является здесь значимым ограничением.

3. В действительности S_{\max} может меняться – за счет того, насколько подробно ЛПР будет анализировать каждую номенклатурную позицию, попавшую на ручную обработку. В этом случае можно говорить о переходе от задачи однокритериальной оптимизации (3) к задаче многокритериальной оптимизации вида:

$$\begin{aligned} |\{S_{01}(i), i \in I\}| &\rightarrow \min, \\ |\{S_{10}(i), i \in I\}| + |\{S_{11}(i), i \in I\}| &\rightarrow \min. \end{aligned} \quad (5)$$

ЛПР, выполняющему роль «фильтра», полезно будет иметь полную картину вариантов своей работы в терминах «нагрузка-качество фильтрации» – тогда он сможет осознанно выбрать устраивающий его вариант.

Таким образом, предложенная процедура позволяет оценивать риски, возникающие в результате конфликта между требованиями заблаговременного планирования пополнения складских запасов и незаблаговременного получения информации об ожидаемых потребностях в этих запасах. Она представляет собой двухуровневый фильтр, в котором первый уровень – это алгоритм, автоматически отмечающий часть планируемых операций пополнения запасов как высокорисковые, а второй уровень – это ЛПР, который выносит решение по высокорисковым ситуациям с привлечением дополнительно информации. Рассмотрен способ настройки параметров такой системы, позволяющий определить баланс между нагрузкой на ЛПР и количеством ошибочных решений, принимаемых системой в целом. Данная схема успешно применяется на практике для предприятия оптово-розничной торговли с номенклатурой запасов порядка 10 тыс. позиций и частотой размещения заказов на пополнение склада 1–2 раза в неделю. При этом в качестве оптимального уровня фильтрации для ЛПР используется соотношение 500 ложных срабатываний при 25 пропусках целей.

Библиографический список

1. Рыжиков, Ю.И. Теория очередей и управление запасами / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: Питер, 2001. – 376 с.
2. Шрайбфедер, Д. Эффективное управление запасами / Д. Шрайбфедер. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 304 с.
3. De Koster. Design and control of warehouse order picking: A literature review / R. De Koster, T. Le-Duc, K.J. Roodbergen // European Journal of Operational Research. – 2006. – № 182(2). Pp. 481–501.
4. Стерлигова, А.Н. Управление запасами в цепях поставок / А.Н. Стерлигова. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 430 с.

[К содержанию](#)