

УДК 658.7

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ С УЧЕТОМ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ДОСТАВКИ ПРОДУКЦИИ

Сысоев В.В.

Аннотация: Предложена динамическая модель управления однономенклатурными запасами в макрологистической системе с учетом организации процесса доставки продукции. Модель позволяет оптимизировать объемы закупок продукции в нескольких поставщиков и количество машинно-перевозок, выполняемых автотранспортными средствами разных типов, которые осуществляют доставку продукции на распределенные в пространстве склады потребителя, по критерию минимальных суммарных логистических затрат в условиях изменения параметров процесса управления запасами.

Ключевые слова: динамическая модель, управление запасами, макрологистическая система, оптимизация, логистические затраты, процесс доставки.

МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ З УРАХУВАННЯМ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ДОСТАВКИ ТОВАРІВ

Сисоев В.В.

Анотація: Запропонована динамічна модель управління однономенклатурними запасами в макрологістичній системі з урахуванням організації процесу доставки продукції. Модель дозволяє оптимізувати обсяги закупівель продукції в декількох постачальників і кількість машинно-перевезень, що виконуються автотранспортними засобами різних типів, які здійснюють доставку продукції на розподілені в просторі склади споживача, за критерієм мінімальних сумарних логістичних витрат в умовах зміни параметрів процесу управління запасами.

Ключові слова: динамічна модель, управління запасами, Макрологістическая система, оптимізація, логістичні витрати, процес доставки.

THE INVENTORY MANAGEMENT MODEL THAT CONSIDERS DELIVERY PROCESS ORGANIZING

Sysoev V.V.

Abstract: The dynamic model of managing one-item inventory in macro logistic system that considering delivery of products process organizing is offered. The model allows to optimize the volume of purchases of products from several of suppliers and the number of machine-traffic operating motor vehicles of different types, which deliver products to area-distributed warehouses consumer, by the minimum total logistics costs in a changing process parameters inventory management.

Keywords: dynamic model, inventory management, macrologistics system, optimization, logistics costs, delivery process.

Проблема эффективного управления запасами обусловлена объективной необходимостью их образования в условиях несовпадения в пространстве и во времени производства и потребления продукции, а также необходимостью обеспечения непрерывности деятельности любых организаций на всех этапах их существования.

Особую роль в развитии теории и практики управления запасами играют модели управления запасами, которые являются основными инструментами, позволяющими рассчитать рациональную структуру использования ресурсов и оптимизировать запасы¹.

Модели управления запасами нашли широкое отражение в научной литературе, по данным некоторых источников их количество составляет более 300 видов². Такое многообразие объясняется невозможностью создать единую универсальную модель, которая бы учитывала различные параметры процесса управления запасами, их взаимную зависимость, а также факторы многоэлементности логистических систем, динамичности параметров, многономенклатурности запасов и др.

В качестве главного критерия оптимизации управления запасами используются суммарные логистические затраты, включающие затраты на оформление и выполнение заказа, приобретение продукции, хранение запаса и потери от дефицита запаса³. Однако существуют и другие виды затрат, которые влияют на эффективность управления запасами. Наибольший интерес среди них вызывают затраты на доставку продукции (транспортные затраты), которые одни исследователи включают в цену единицы закупаемой продукции⁴, другие – в состав затрат на выполнение заказа, считая, что они не зависят от объема заказа^{5,6}. Первое положение справедливо в случае, когда за доставку отвечает поставщик, второе имеет смысл, если объем заказа не превышает грузоподъемности транспортного средства. Однако на практике часто складывается ситуация, когда для перевозки одного заказа требуется несколько транспортных средств или одному транспортному средству необходимо

совершить несколько поездок. В этом случае величина затрат на доставку продукции возрастает пропорционально количеству транспортных средств либо поездок, что приводит к изменению величины оптимального размера заказа.

Учитывая, сложную организацию процесса доставки продукции в макрологистических системах, а также его влияние на эффективность управления запасами потребителей, актуальным является выделение транспортных затрат как самостоятельного показателя в аддитивной модели управления запасами.

Анализ научных работ в сфере управления запасами показал недостаточную исследованность этого вопроса, особенно с точки зрения организации процесса доставки продукции в макрологистических системах. Большинство авторов рассматривают или статичную задачу управления запасами или систему снабжения, состоящую только из одного поставщика и одного потребителя, что существенно упрощает задачу. Так, в работах Савенковой Т.И.⁷ и Стерлиговой А.Н.⁸ затраты на доставку продукции представлены упрощенно, как величины прямо пропорциональные количеству заказов. Сергеев В.И. предлагает рассчитывать транспортные затраты как произведение тарифа на перевозку единицы продукции на суммарную потребность за плановый период с учетом нормы транзитной отправки грузов⁹. Лукинский В.В., при расчете суммарных логистических затрат на поставки одно- и многономенклатурной продукции, учитывает только ограничения, связанные с объемом (площадью) и грузоподъемностью транспортных средств¹⁰. С целью учета зависимости транспортных затрат от размеров партии отгрузки и количества поставок некоторые ученые предлагают использовать в процессе управления запасами эвристические алгоритмы расчета затрат на доставку продукции, что не позволяет получить оптимальное решение задачи¹¹. В модели, рассмотренной в работе¹², выделены переменные и постоянные транспортные затраты, которые определяются соответственно временем работы и типом транспортных средств, используемых для доставки продукции только одному

потребителю. Разработке алгоритма синтеза системы управления многономенклатурными запасами в системе с одним складом и одним транспортным средством посвящена работа¹³, в которой для оптимизации количества поставок используется метод локально-оптимального слежения, а суммарных логистических затрат – метод случайного поиска. В работе¹⁴ предложена модель управления запасами в макрологистической системе, состоящей из одного поставщика и распределенной системы складирования потребителя, которая учитывает разнотипность транспортных средств, осуществляющих развозку продукции между складами.

Развитие макрологистических систем, объединяющих большое количество поставщиков и потребителей, требует усовершенствования математических инструментов, позволяющих эффективно управлять запасами последних с учетом основных характеристик всех участников логистического процесса и динамичного характера его параметров.

Целью статьи является разработка динамической модели управления запасами в макрологистической системе с учетом организации процесса доставки продукции.

В качестве объекта исследования рассматривается макрологистическая система, включающая распределённую в пространстве систему складирования организации-потребителя и некоторое множество поставщиков однородной продукции, для доставки которой используются автотранспортные средства различных типов, отличающихся грузоподъемностью. Логистический процесс управления запасами потребителя включает реализацию основных функций логистики: заказ и закупку продукции у поставщиков, ее доставку автомобильным транспортом по разным складам и хранение запасов на складах.

Динамика процесса снабжения отражается с помощью разделения планового периода функционирования логистической системы на равные отрезки времени, в рамках каждого из которых могут изменяться отдельные

параметры (потребности, цены на продукцию, транспортные тарифы и др.) и осуществляется полный логистический цикл «заказ-закупка-доставка-хранение-потребление».

Управление запасами в плановый период, в этом случае, сводится к задаче оптимизации объемов закупок продукции в разных поставщиков и количества машинно-перевозок, выполняемых разными типами транспортных средств, на каждом отрезке времени с учетом складских запасов предыдущего отрезка времени, с целью удовлетворения потребностей распределенных в пространстве складов потребителя, обеспечивающих минимизацию суммарных логистических затрат. Доставка продукции от поставщиков на склады потребителя осуществляется по маятниковым маршрутам.

Рассмотрим параметры динамической модели управления запасами в процессе снабжения однородной продукцией:

N – количество отрезков времени планового периода;

$n (n = \overline{1, N})$ – n -й отрезок времени планового периода;

I – количество поставщиков продукции;

J – количество складов организации-потребителя;

$d_{nj}, n = \overline{1, N}; j = \overline{1, J}$ – заранее известная величина потребностей j -го склада в n -й отрезок времени;

$b_{ni}, n = \overline{1, N}; i = \overline{1, I}$ – предельные возможности обеспечения поставки продукции i -м поставщиком в n -й отрезок времени;

$x_{ni}, n = \overline{1, N}; i = \overline{1, I}$ – искомый объем заказа (закупки) продукции в i -го поставщика в n -й отрезок времени;

$z_{n-1, j}$ – объем складских запасов продукции в период, предшествующий рассматриваемому n -му отрезку времени, на j -м складе потребителя;

$c_{ni}^n(x_{ni}), n = \overline{1, N}; i = \overline{1, I}$ – удельные затраты на закупку продукции в i -го поставщика в n -й отрезок времени, зависящие от объема закупки (например, при предоставлении скидок на оптовые закупки);

$c_{ni}^3, n = \overline{1, N}; i = \overline{1, I}$ – затраты на оформление заказа на закупку продукции в i -го поставщика в n -й отрезок времени, не зависящие от объема закупки, причем $c_{ni}^3 = 0$, если $x_{ni} = 0$;

$c_{nj}^x, n = \overline{1, N}; j = \overline{1, J}$ – удельные затраты на хранение запасов продукции на j -м складе потребителя в n -й отрезок времени;

P – количество типов автотранспортных средств;

$g_p, p = \overline{1, P}$ – грузоподъемность автотранспортного средства p -го типа;

$c_{npj}^T, n = \overline{1, N}; p = \overline{1, P}; i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}$ – транспортный тариф на перевозку продукции автотранспортным средством p -го типа в n -й отрезок времени между i -м поставщиком и j -м складом потребителя;

$l_{ij}, i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}$ – длина маршрута (i, j) , причем $l_{ij} = \infty$, если маршрут от i -го поставщика до j -го склада потребителя отсутствует;

$\gamma_p, p = \overline{1, P}$ – статический коэффициент использования грузоподъемности автотранспортного средства p -го типа;

$\tau_{pij}, p = \overline{1, P}; i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}$ – часть суток в относительных единицах, в течение которого автотранспортное средство p -го типа может осуществлять перевозку грузов по маршруту (i, j) ;

$t_{pij}, p = \overline{1, P}; i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}$ – время движения автотранспортного средства p -го типа по маршруту (i, j) ;

$t_{pij}^{np}, p = \overline{1, P}; i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}$ – суммарное время простоев автотранспортного средства p -го типа при поездках в прямом и обратном направлении по маршруту (i, j) ;

T – время, отведенное для доставки грузов, выраженное количеством суток;

$y_{npij}, n = \overline{1, N}; p = \overline{1, P}; i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}$ – искомое количество машинно-перевозок, выполняемых автотранспортным средством p -го типа в n -й отрезок времени на маршруте (i, j) в прямом и обратном направлениях.

Учитывая особенности организации процесса управления запасами в макрологистической системе в течение планового периода, составим соотношения, отражающие взаимосвязи основных параметров динамической модели и одновременно являющиеся ограничениями оптимизационной задачи.

Объем запасов на конкретном складе в текущем отрезке времени определяется величинами заказов продукции у каждого поставщика, объемом запасов на складе в период, предшествующий данному отрезку времени, а также уровнем потребления продукции с этого склада:

$$z_{nj} = \sum_{i=1}^I x_{ni} + z_{n-1,j} - d_{nj}; n = \overline{1, N}; j = \overline{1, J}. \quad (1)$$

Эта зависимость позволяет учесть начальный уровень запасов продукции на j -м складе потребителя в период, предшествующий началу закупок, причем:

$$z_{0j} \geq 0; j = \overline{1, J}. \quad (2)$$

При этом должно выполняться условие удовлетворения требуемого уровня потребления продукции в n -й отрезок времени на j -ом складе потребителя:

$$\sum_{i=1}^I x_{ni} + z_{n-1,j} \geq d_{nj}; n = \overline{1, N}; j = \overline{1, J}. \quad (3)$$

Заказы на продукцию i -го поставщика в n -й отрезок времени должны быть неотрицательными и ограничиваются его предельными возможностями обеспечить продажу заказываемого объема продукции:

$$0 \leq x_{ni} \leq b_{ni}; n = \overline{1, N}; i = \overline{1, I}. \quad (4)$$

Максимальное количество машинно-перевозок в прямом и обратном направлениях, осуществляемое автотранспортным средством p -го типа по маршруту (i, j) , определяется как:

$$Y_{pij} = \frac{T\tau_{pij}}{t_{pij} + t_{pij}^{np}}; p = \overline{1, P}; i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}, \quad (5)$$

причем $Y_{pij} = 0$, если маршрут (i, j) отсутствует.

Количество возможных машинно-перевозок автотранспортным средством p -го типа на маршруте (i, j) в любой отрезок времени планового периода не отрицательно и ограничено максимальным количеством машинно-перевозок в прямом и обратном направлениях (размерность отрезка времени – сутки):

$$0 \leq y_{npij} \leq Y_{pij}; n = \overline{1, N}; p = \overline{1, P}; i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}. \quad (6)$$

При этом, объем поставок закупленной в i -го поставщика продукции в n -м отрезке времени с учетом ее доставки на склады потребителя различными типами автотранспортных средств рассчитывается по формуле:

$$x_{ni} = \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J g_p \gamma_p y_{npij}; n = \overline{1, N}; i = \overline{1, I}. \quad (7)$$

Целевая функция оптимизации управления запасами в макрологистической системе за плановый период имеет вид:

$$F(\{x_{ni}\}, \{y_{npij}\}) = W_1 + W_2 + W_3 \rightarrow \min, \quad (8)$$

где:

$$W_1 = \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J c_{nj}^x z_{nj} - \text{суммарные затраты на хранение запасов продукции на}$$

всех складах потребителя за плановый период;

$$W_2 = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I [c_{ni}^3 + c_{ni}^n(x_{ni})x_{ni}] - \text{суммарные затраты на оформление заказов}$$

и закупку продукции у всех поставщиков за плановый период;

$$W_3 = \sum_{n=1}^N \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_{npij}^t l_{ij} y_{npij} - \text{суммарные затраты на доставку продукции в}$$

макрологистической системе за плановый период.

В результате решения динамической задачи оптимизации управления запасами (1) - (8) определяются следующие параметры модели:

x_{ni}^* – оптимальные объемы заказанной (закупленной) в i -го поставщика продукции в n -й отрезок времени;

$x_i^* = \sum_{n=1}^N x_{ni}^*$ – оптимальные объемы заказанной (закупленной) в i -го поставщика продукции за плановый период;

$x_n^* = \sum_{i=1}^I x_{ni}^*$ – оптимальные объемы заказанной (закупленной) продукции у всех поставщиков в n -й отрезок времени;

y_{npj}^* – оптимальное количество машинно-перевозок, выполняемых автотранспортным средством p -го типа в n -й отрезок времени на маршруте (i,j) в прямом и обратном направлениях для доставки закупленной продукции;

$y_{np}^* = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{npj}^*$ – оптимальное количество машинно-перевозок,

выполняемых автотранспортным средством p -го типа в n -й отрезок времени для доставки закупленной продукции.

В зависимости от количества автотранспортных средств каждого типа, которые могут быть привлечены для перевозки продукции по любому маршруту доставки в конкретном отрезке времени, в результате решения данной задачи появляется возможность выбора между длительностью доставки продукции и количеством используемых автотранспортных средств. Например, если $y_{np}^* = 10$, при использовании однотипных транспортных средств, могут рассматриваться варианты доставки: 10 суток – 1 единица автотранспортного средства или 5 суток – 2 единицы автотранспортных средств и т.д., при разнотипных транспортных средствах варианты доставки могут уточняться путем подбора оптимального количества автотранспортных средств каждого типа с учетом их наличия.

Разработанная динамическая модель управления однономенклатурными запасами базируется на принципах системности, интеграции логистических

функций и глобальной оптимизации процесса снабжения. Она позволяет оптимизировать управление запасами в любые отрезки времени планового периода по критерию минимальных суммарных логистических затрат, обеспечивая при этом заданный уровень потребления продукции, с учетом особенностей организации процесса ее доставки в макрологистической системе в условиях отсутствия дефицита, а также исследовать взаимное влияние параметров процесса управления запасами и структуру логистических затрат. Как инструмент принятия логистических решений модель дает возможность оперативно реагировать на изменения характеристик основных участников процесса снабжения и координировать действия по управлению запасами в распределенной системе складирования потребителя.

¹ *Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б.* Современный экономический словарь. 2-е изд., испр. – М.: ИНФРА-М, 1999. – 479 с.

² *Рыжиков Ю.И.* Теория очередей и управление запасами. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.

³ Модели и методы теории логистики: учеб. пособ. 2-е изд. / Под ред. *В.С. Лукинско*го. – СПб.: Питер, 2007. – 448 с.

⁴ *Бауэрсокс Д.Д., Клосс Д.Д.* Логистика: интегрированная цепь поставок. – М.: Олимп-бизнес, 2001. – 640 с.

⁵ *Линдерс М.Р., Харольд Е.Ф.* Управление снабжением и запасами. Логистика. – Пер. с англ. - СПб.: Полигон, 1999. – 768 с.

⁶ *Аникин Б.А.* Логистика: учебник. – М.: ИНФРА-М, серия «Высшее образование», 2005. – 368 с.

⁷ *Савенкова Т.И.* Логистика: учеб. пособ. для студентов, обучающихся по специальностям «Финансы и кредит», «Бухгалтерский учет, анализ и аудит». 5-е изд., стер. – М.: Изд. «Омега-Л», 2010. – 255 с.

⁸ *Стерлигова А.Н.* Управление запасами в цепях поставок: учебник. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 430 с.

⁹ Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов / Под общ. научн. ред. проф. *В.И. Сергеева*. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 976 с.

¹⁰ *Лукинский В.В.* Актуальные проблемы формирования теории управления запасами: монография. – СПб.: СПбГИЭУ, 2008. – 213 с.

¹¹ *K. Ertogral, M. Darwish, M. Ben-Daya.* Integrated production, inventory, and transportation planning in two-layer supply chain // The 6th Saudi Engineering Conference, KFUPM, Dhahran, December 2002. – Vol. 4. – pp. 439-451.

¹² *E. Lee, K. Farahmand.* Simulation of a base stock inventory management system integrated with transportation strategies of a logistic network. Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Hugan, and E. Yucesan, eds.. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2010. – pp. 1934-1945.

¹³ *Смагин В.И., Смагин С.В.* Управление запасами по двум критериям с учетом ограничений // Вестник Томского государственного университета. 2006. – Вып. 290. – С.244-247.

¹⁴ *M. Vroblefski, R. Ramesh, S. Zionts.* Efficient Lot Sizing Under a Differential Transportation Cost Structure for Serially Distributed Warehouses, European Journal of Operational Research. 2000. – Vol. 127, No. 3. – pp. 574-593.