

Выполнение пяти предпосылок метода наименьших квадратов подтверждает несмещенность, состоятельность и эффективность оценок параметров регрессии [7].

Можно сделать вывод, что последняя трехфакторная модель является адекватной и может служить ориентиром для продавцов и покупателей вторичного жилья на рынке Владивостока при расчете цены. При этом значимыми факторами оказались престижность района, количество комнат и площадь кухни.

Действительно, количество комнат в квартире существенно влияет на формирование цены. Большую значимость количество комнат имеет и для покупателя. Но на практике, к сожалению, многие люди приобретают жилье исходя из своих финансовых возможностей, а не из потребностей.

Для большинства людей, проживающих в городе, престижность района имеет немаловажное значение. Под престижностью района подразумевается высокий уровень социальной и транспортной инфраструктуры.

Площадь кухни в малогабаритных квартирах и «хрущевках» оставляет желать лучшего, что является раздражающим фактором для любой хозяйки. Поэтому при покупке квартиры каждая женщина всегда ориентируется на площадь своей будущей кухни.

Вторичный рынок привлекает своим разнообразием в ценовой политике, что дает возможность каждому желающему в той или иной степени удовлетворить свои потребности в жилье гораздо быстрее, чем при покупке квартиры в новостройке. В этом случае придется выплачивать ипотеку за дорогостоящее жилье, в котором еще нужно будет сделать ремонт.

1. Березина, А.В. Эконометрическая модель стоимости вторичного жилья на примере г. Челябинска / А.В. Березина // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 7 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2015/07/56257>.

2. Гузенко, А.Г. Моделирование потребительского рынка торговой марки / А.Г. Гузенко, Н.Н. Одияко, К.И. Лавренюк // Экономика и предпринимательство. – 2013. – №5. С. 384 – 389.

3. Гузенко, А.Г. Эконометрическое моделирование курса доллара США к российскому рублю / А.Г. Гузенко, В.С. Бутко // Интеллектуальный потенциал вузов – на развитие дальневосточного региона России и стран АТР. Материалы XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2016. С. 8 – 11.

4. Емцева, Е.Д. Моделирование взаимосвязи валового регионального продукта и показателей качества жизни / Е.Д. Емцева, А.Л. Мазелис // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2016. – № 3 (26). С. 24 – 28.

5. Кучерова, С.В. Эконометрическое моделирование взаимосвязи основных показателей рыбной отрасли Приморского края / С.В. Кучерова, Д.К. Карпова // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 12-2. – С. 441 – 446.

6. Сайт «Фарпост» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.farpost.ru>.

7. Елисеева, И.И. Эконометрика: учебник для магистрантов / И.И. Елисеева, С.В. Курышева, Ю.В. Нерадовская и др.; под ред. И.И. Елисеевой; С.-Петербург. гос. ун-т экономики и финансов. – М.: Изд. «Юрайт», 2012. – 453 с.

Рубрика: Математические и инструментальные методы экономики

УДК 339.144

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫМИ ТОВАРНЫМИ ЗАПАСАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ В НЕЧЕТКОЙ ПОСТАНОВКЕ

К.И. Лавренюк

мл. научный сотрудник

Н.В. Козина

бакалавр, 4 курс

*Владивостокский государственный университет экономики и сервиса
Россия. Владивосток*

В работе предложена нечеткая экономико-математическая модель управления многономенклатурными товарными запасами торгово-закупочного предприятия, целевой функцией которой является разница между суммарной годовой выручкой и суммарными годовыми логистическими затратами (включающими затраты на приобретение товаров, их хранение на складе, оформление заказа и потери от дефицита товаров на складе). В качестве переменных оптимизации используются ежемесячные

объемы партии поставок того или иного товара. Приведен пример использования модели для торгово-закупочной компании г. Владивосток

Ключевые слова и словосочетания: экономико-математическая модель, оптимизация, управление товарными запасами, логистические затраты, нечеткие регрессии.

OPTIMIZATION MODEL OF MULTINOMENCLATURE INVENTORY'S MANAGEMENT OF THE ENTERPRISE IN A FUZZY STATEMENT

K.I. Lavrenyuk
Junior researcher

N.V. Kozinova
bachelor, 4th year

*Vladivostok State University of Economics and Service
Russia. Vladivostok*

The paper offers a fuzzy economic-mathematical model for managing multi-item inventory stocks of a trade and purchasing enterprise whose objective function is the difference between the total annual revenue and the total annual logistical costs (including costs for purchasing goods, storing them in a warehouse, Registration of the order and losses from deficiency of the goods in a warehouse). As the optimization variables, the monthly batch quantities of the goods are used. An example of using the model for the Vladivostok trade and purchasing company is given.

Keywords and phrases: economic-mathematical model, optimization, inventory management, logistics costs, fuzzy regressions.

Постепенный переход к рыночным отношениям в российской экономике привел к интенсивному развитию экономической науки и стал катализатором появления новых ее направлений. Одним из таких направлений является теория управления запасами, объектом исследования и управления в которой являются материальные и связанные с ними финансовые процессы. Модификация методического аппарата теории на практике диктуется необходимостью повышения конкурентного потенциала социально-экономических систем различного иерархического уровня.

Среднестатистическая торгово-закупочная система включает в себя более 500 тыс. различных наименований изделий, а, например, стандартный магазин – до 50 тыс. видов товаров. Запасаемые товары в большинстве случаев отличаются стоимостью, весом и объемом. При этом они являются неоднородными по своей роли в торговом процессе: небольшая часть товаров обеспечивает наибольшую часть доходов магазина и, наоборот, широкая ассортиментная линейка дает незначительную долю выручки. В связи с этим товарные запасы можно классифицировать как неоднородные материальные запасы. Процесс формирования данных запасов является процессом вывода из оборота части финансовых средств, что приводит к необходимости создания действенных способов эффективного управления использованием запасов, позволяющих снизить продолжительность операционного цикла, уменьшить текущие затраты на хранение, сократить потери от дефицита товаров на складе и т.д.

Вопрос о том, как эффективно управлять неоднородными материальными запасами сегодня, когда маржинальный доход от деятельности предприятий снижается, заемные средства становятся менее доступными, а конкуренция растет, приобретает первостепенное значение [3]. При этом уровень разработанности проблемы управления запасами (в частности неоднородными) можно оценить, как достаточно высокий. Среди последних работ отечественных авторов можно выделить, например, [2, 5, 6], среди зарубежных – [7, 8, 9, 10]. Однако, несмотря на значительное количество исследований по данной тематике, они обладают рядом существенных недостатков: не учитывают существующие неопределенности, связанные, в том числе с тем, что прогнозирование спроса осуществляется с использованием статистической информации предприятия по реализации того или иного товара, не включающей информацию о том, сколько товаров могло бы быть продано при условии отсутствия их дефицита на складе; не учитывают накопление товарных запасов за определенный интервал времени в случае их превосходства над спросом.

Учитывая вышеизложенное, задачей данного исследования является разработка экономико-математической модели управления многономенклатурными товарными запасами торгово-закупочного предприятия с использованием нечетких данных.

Финансовые показатели деятельности любого направления в коммерческой компании являются наиболее значимыми индикаторами эффективности деятельности функциональных подразделений, в том числе и отвечающих за управление запасами. Каждое направление в системе управления товарными запасами полностью обеспечивается за счет собственных бюджетных денежных средств. Уровень расходов, приходящийся на управление тем или иным видом деятельности компании, зависит от инст-

рументальных средств, лежащих в основе функционирования того или иного направления. При этом закупка, доставка и хранение товаров являются наиболее затратными статьями логистических расходов компании. Поэтому рассмотрим задачу определения оптимального объема партий ежемесячных (поставки осуществляются ровно один раз в начале месяца) поставок, включающих различные номенклатуры товаров, с горизонтом планирования один год для максимизации разницы между выручкой и логистическими затратами. Для ее решения в данной статье разработана экономико-математическая модель управления многономенклатурными товарными запасами торгово-закупочного предприятия.

В качестве целевой функции модели предлагается рассматривать разницу между выручкой и логистическими затратами, определяющуюся по следующей формуле:

$$C = C_{выр} - C_{лог} = C_{выр} - (C_k + C_o + C_h + C_d), \quad (1)$$

где $C_{выр}$ – ежегодная выручка от реализации товаров, услуг; $C_{об}$ – сумма общих логистических затрат; C_k – затраты на приобретение товаров; C_o – затраты на оформление заказа; C_h – затраты на хранение товаров на складе; C_d – потери от дефицита товаров на складе.

Далее рассмотрим каждую составляющую логистической задачи в отдельности.

Суммарная ежегодная выручка от реализации товаров и услуг определяется по следующей формуле:

$$C_{выр} = \sum_{t=1}^{12} \sum_{i=1}^I S_i^1(t) \cdot P_i^1(t), \quad (2)$$

где $P_i^1(t)$ – цена реализации i -го товара в момент времени t ; I – количество номенклатур товаров; $S_i^1(t)$ – объем потенциально возможной реализации i -го товара в момент времени t , определяющийся по следующей формуле:

$$S_i^1(t) = \begin{cases} S_i(t), & \text{при } x_i(t) + \sum_{\theta=1}^{t-1} (x_i(\theta) - K_i(\theta)) \leq S_i(t), \\ x_i(t) + \sum_{\theta=1}^{t-1} (x_i(\theta) - K_i(\theta)), & \text{при } x_i(t) + \sum_{\theta=1}^{t-1} (x_i(\theta) - K_i(\theta)) > S_i(t), \end{cases} \quad (3)$$

где $S_i(t)$ – спрос на i -й товар компании в момент времени t ; $x_i(t)$ – объем партии поставки i -го товара в момент времени t , $x_i(t) \in \mathbb{N}$ (переменная оптимизации); $K_i(t)$ – предполагаемый объем реализации i -го товара в момент времени t , определяющийся по следующей формуле:

$$K_i(t) = \begin{cases} x_i(t) + \sum_{\theta=1}^{t-1} (x_i(\theta) - K_i(\theta)), & \text{при } x_i(t) + \sum_{\theta=1}^{t-1} (x_i(\theta) - K_i(\theta)) \leq S_i(t), \\ S_i(t), & \text{при } x_i(t) + \sum_{\theta=1}^{t-1} (x_i(\theta) - K_i(\theta)) > S_i(t). \end{cases} \quad (4)$$

Затраты на приобретение товаров определяются стоимостью единицы продукции. Стоимость может быть постоянной и переменной при учете оптовых скидок, которые зависят от объема заказа. В связи с этим годовые затраты на приобретение товаров определяются по следующей формуле:

$$C_k = \sum_{t=1}^{12} \sum_{i=1}^I [x_i(t) \cdot P_i^2(t) \cdot \gamma_i(t)], \quad (5)$$

где $P_i^2(t)$ – закупочная стоимость i -го товара в момент времени t ; $\gamma_i(t)$ – коэффициент, учитывающий оптовые скидки, определяющийся, например, по следующей формуле:

$$\gamma_i(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } x_i(t) \cdot P_i^2(t) < 50000, \\ 0,95, & \text{при } 50000 \leq x_i(t) \cdot P_i^2(t) < 70000, \\ 0,9, & \text{при } 70000 \leq x_i(t) \cdot P_i^2(t) < 100000, \\ 0,85, & \text{при } 100000 \leq x_i(t) \cdot P_i^2(t) < 150000, \\ 0,8, & \text{при } 150000 \leq x_i(t) \cdot P_i^2(t) < 200000, \\ 0,75, & \text{при } x_i(t) \cdot P_i^2(t) \geq 200000. \end{cases} \quad (6)$$

Затраты на оформление заказа включают в себя расходы, связанные с размещением заказа и его транспортировкой. Разделяют три системы учета данных издержек: затраты учитываются в размере

стоимости перевозимой продукции; затраты принимаются как стоимость доставки партии продукции на склад в зависимости от способа доставки; затраты являются фиксированной величиной, принятой при планировании бюджета компании на предстоящий год. В рамках данной работы затраты на оформление заказа складываются из двух составляющих: затраты на оформление документации по приобретаемым товарам; затраты на перевозку единицы продукции самым оптимальным способом доставки. Таким образом, функция объема ежегодных затрат на оформление заказа имеет следующий вид:

$$C_o = \sum_{t=1}^{12} \left[\sum_{i=1}^I (x_i(t) \cdot W_i(t)) + B(t) \right], \quad (7)$$

где $W_i(t)$ – стоимость доставки единицы i -го товара в момент времени t ; $B(t)$ – стоимости оформления документации в момент времени t .

Затраты на хранение запаса отражают расходы, связанные с содержанием, обслуживанием и управлением. При этом сложность определения данных затрат связана с тем, что может сложиться ситуация, когда приобретенные товарные запасы не будут реализованы в тот же момент времени. Это повлечет за собой ситуацию содержания данных остатков на складе в последующий момент времени. Таким образом, для построения данной функциональной зависимости ежегодных затрат на хранение запаса от объема поставки партии строятся рекуррентные зависимости для первых двенадцати моментов времени. Далее по рекуррентным зависимостям строится уравнение определения ежегодных затрат на хранение запаса в общем виде, имеющее следующий вид:

$$C_h = \sum_{t=1}^{12} \sum_{i=1}^I [(13-t) \cdot x_i(t) - (12-t) \cdot K_i(t)] \cdot V_i(t), \quad (8)$$

где $V_i(t)$ – затраты на хранение единицы i -го товара в момент времени t , определяющиеся по следующей формуле:

$$V_i(t) = Y(t) \cdot \frac{Z_i}{\sum_{i=1}^I Z_i \cdot \left(\sum_{\varpi=1}^t (x_i(\varpi) - K_i(\varpi - 1)) \right)}, \quad K_i(0) = 0, \quad (9)$$

где $Y(t)$ – суммарные затраты на содержание и обслуживание склада в момент времени t ; Z_i – объем i -го товара.

Потери от дефицита товаров на складе включают потенциальные потери прибыли из-за отсутствия запаса (т.е. потери от дефицита возникают в том случае, если спрос на тот или иной товар больше, чем его количество на складе). При этом для построения функциональной зависимости необходимо учитывать и тот факт, что если в момент времени t образуется профицит товара на складе, то он перенаправляется на реализацию в момент времени $(t + 1)$. Таким образом, для построения уравнения определения ежегодных потерь от дефицита товаров на складе строятся рекуррентные зависимости для первых двенадцати моментов времени. Далее по рекуррентным зависимостям строится уравнение определения ежегодных потерь от дефицита товаров на складе в общем виде, имеющее следующий вид:

$$C_d = \sum_{t=1}^{12} \sum_{i=1}^I \left[(S_i^1(t) - (13-t) \cdot x_i(t) + (12-t) \cdot K_i(t)) \cdot (P_i^2(t) - P_i^1(t)) \right]. \quad (10)$$

Отметим, что в рамках поставленной оптимизационной задачи должны выполняться следующие ограничения:

– суммарный объем всех товаров, содержащихся одновременно на складе, не может превосходить максимально возможный объем склада (с учетом выгрузки товарных упаковок друг на друга) с учетом погрешности в оптимальной расстановке товаров на складе. Для того, чтобы учесть данное ограничение в модели, воспользуемся следующим неравенством:

$$\sum_{i=1}^I Z_i \cdot \left(x_i(t) + \sum_{\theta=1}^{t-1} (x_i(\theta) - K_i(\theta)) \right) \leq 0,9 \cdot Z, \quad (11)$$

где Z – максимально возможный для загрузки товарами объем склада;

– суммарные затраты на приобретение товаров у поставщика не могут быть ниже определенной суммы, ввиду существующей ограниченности суммы у большинства оптовых поставщиков (иначе, доставка товара осуществляется «своими силами»). Для того, чтобы учесть данное ограничение в модели, воспользуемся следующим неравенством:

$$\sum_{i=1}^I P_i^1(t) \cdot x_i(t) \geq P, \quad (12)$$

где P – минимальная сумма заказа, определенная поставщиком;

– предприятие обладает ограниченностью финансовых ресурсов, т.е. предприятие не может потратить больше финансовых средств, чем имеется в его бюджете: $C_{лог}(t) \leq B_{бюдж}$.

Используя сформулированные выше предположения, построенные соотношения и введенные обозначения, предлагается определение оптимального объема партий ежемесячных поставок товаров осуществлять, используя следующую модель:

$$\begin{cases} C = C_{выр} - (C_k + C_o + C_h + C_d) \rightarrow \max, \\ \sum_{i=1}^I Z_i \cdot \left(x_i(t) + \sum_{\theta=1}^{t-1} (x_i(\theta) - K_i(\theta)) \right) \leq 0,9 \cdot Z, \\ \sum_{i=1}^I P_i^1(t) \cdot x_i(t) \geq P, \\ C_{лог}(t) \leq B_{бюдж}. \end{cases}$$

Решение модели в четкой постановке находится методом обобщенного приведенного градиента в Microsoft Excel. В качестве переменных оптимизационной модели используются ежемесячные объемы партии поставок i -го товара $x_i(t)$.

Отметим, что данные по спросу на тот или иной товар в компании $S_i(t)$ определяются на основании экспертной оценки сотрудников данной компании. Это связано с тем, что если точная статистика по реализации i -го товара имеется в компании, то оценить информации о том, сколько товаров могло бы быть продано при условии отсутствия их дефицита на складе, возможно только экспертно. При этом достаточно сложным является задание того на сколько реальный спрос на товар в компании превосходит объемы продаж в виде четкого числа, а эксперту гораздо проще формулировать значения в виде вербальной оценки, учитывая субъективные представления и ощущения. Одним из способов упрощения задачи для эксперта является применение нечетко-множественного подхода. В связи с этим в качестве оценок того, во сколько раз реальный спрос на товар в компании превосходит объемы продаж, воспользуемся вербальными оценками, преобразованными в нечеткие числа. Так, для лингвистической переменной $Y = \langle \text{уровень превосходства реального спроса на } i\text{-й товар в компании над объемами продаж} \rangle$ терм-множество можно записать как $V(y) = \{\text{отсутствие; чрезвычайно низкое; крайне низкое; низкое; ниже среднего; среднее; выше среднего; высокое; крайне высокое; чрезвычайно высокое}\}$. Функции принадлежности, задающиеся в виде треугольных нечетких чисел, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Структура лингвистической переменной Y

Значения лингвистической переменной	Значение базовой переменной										
	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5
	Функции принадлежности										
Отсутствие	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Чрезвычайно низкое	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Крайне низкое	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Низкое	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Ниже среднего	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Среднее	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Выше среднего	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Высокое	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Крайне высокое	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Чрезвычайно высокое	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Далее, получив исходные данные по спросу на тот или иной товар, в компании необходимо спрогнозировать его на последующие 12 моментов времени. Для того, чтобы осуществить прогноз, необходимо построить регрессию временного ряда. В связи с тем, что спрос на тот или иной товар в компании является нечетким числом, то существует необходимость в построении регрессии с нечеткими входны-

ми параметрами. Алгоритм построения такого рода регрессий с использованием метода наименьших квадратов представлен в работе [1].

Заключительным вопросом является определения метода решения поставленной ранее задачи в нечеткой постановке (где спрос на тот или иной товар в компании является нечетким числом). Как отмечено в работе [4] существующие методы решения оптимизационных задач в нечеткой постановке не подходят для решения динамических задач, в которых часть входных параметров модели меняется во времени. Однако в той же работе предложен алгоритм их решения. Данный алгоритм приведен ниже:

– определим оптимальные объемы поставок товаров в компанию для достижения минимального значения годовых логистических затрат в четких числах используя модель, описанную выше; при этом начальными значениями спроса являются значения медиан треугольных нечетких чисел;

– используя найденные в пункте 1 оптимальные объемы поставок товаров в компанию и задавая начальный спрос на тот или иной товар в компании в виде нечетких чисел по рекуррентным зависимостям модели, прямым счётом находим значение годовых логистических затрат компании.

В качестве примера рассмотрим следующую управленческую задачу, стоящую перед отделом логистики: ежемесячно торговая компания тратит существенную часть финансовых средств на обновление своих товарных запасов, при этом специалисту отдела логистики необходимо осуществить данный процесс таким образом, чтобы достичь максимально возможной разницы между выручкой и логистическими затратами за текущих двенадцать месяцев с учетом имеющегося в рамках данной компании спроса на тот или иной товар. Рассмотрена торговая компания, реализующая строительные материалы. Для данной компании были определены оптимальные объемы поставок для 10 наименований товаров: базалит 50 техноблок стандарт, биполь ХПП 1/15 сер., брусочек сухой строганный 1/144, гидроизоляция гидротэкс У-25 кг проникающая, ГКЛ гуркос, изоленга abro, краска в/э powertex для внутренних и наружных работ, краска вододисперсионная dongsang «Морской конек», минвата KNAUF скатная кровля, пена монтажная момент PRO 65 PS850. В рамках исследования для каждого товара построены нечеткие зависимости спроса от времени с учетом сезонных колебаний. Далее была произведена оптимизация, по результатам которой получены оптимальные объемы поставок товаров в каждый момент времени. Учитывая полученные объемы поставок, максимально возможное значение целевой функции составляет {20,5; 20,5; 21,5} млн руб, при этом логистические затраты распределились следующим образом: 94% приходится на приобретение товаров у поставщика, 5,4% – расходы на доставку товаров и 0,6% – расходы на хранение на складе.

Также сделаны следующие выводы:

– оптимальным является постепенное накопление товаров «брусочек сухой строганный 1/144» и «изоленга abro». Отметим, что данные товары обладают самой низкой закупочной ценой, стоимостью доставки и хранения. При этом данные товары являются одними из самых реализуемых по критерию объема реализации, т.е. существует высокий спрос на них;

– для всех остальных товаров – товарные остатки на складе и объемы потенциальной реализации приблизительно равны. Однако, определенное накопление происходит в период «ноябрь – февраль». Именно в данный период потребление для данных товаров является минимальным, что позволяет при совершении равномерных по периодам времени поставок партий создавать определенный запас.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 15-32-01027.

1. Вельдяксов, В.Н. О методе наименьших квадратов при регрессии с нечеткими данными / В.Н. Вельдяксов, А.С. Шведов // Экономический журнал ВШЭ. – 2014. – № 2. – С. 328-344.

2. Жиратов, Д.Н. О нейросетевых моделях в управлении запасами / Д.Н. Жиратов, Л.В. Липинский // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2015. – № 11. – Т. 1. – С. 305-307.

3. Карлова, М.Ю. Модели управления неоднородными материальными запасами торгового предприятия: монография / М.Ю. Карлова. – Тамбов: ИД ТМБпринт, 2011. – 100 с.