Научная статья
Original article
УДК 658.783

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ПРИМЕРЕ АО «ВЦРТО»

APPLICATION OF DETERMINISTIC INVENTORY MANAGEMENT MODELS FOR VEHICLE TECHNICAL SERVICE ENTERPRISES ON THE EXAMPLE OF JSC "VTESC"

Семенов Дмитрий Артемович, магистрант, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Россия, г. Владивосток, п. Аякс
Чичик Илья Александрович, магистрант, Политехнический институт, Дальневосточный федеральный университет, Россия, г. Владивосток, п. Аякс

Semenov Dmitry Artemovich, master student, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, Russia, Vladivostok, Ajaks settlement
Chichik Ilya Alexandrovich, master student, Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, Russia, Vladivostok, Ajaks settlement

Аннотация

Формирование на предприятии оптимального уровня запаса, необходимого для поддержания непрерывности производственного процесса и приемлемого уровня обслуживания потребителей по всей цепи поставок, на сегодняшний день является одной из ключевых логистических задач управления.

В свою очередь управление запасами заключается в обоснованном установлении моментов времени и объемов заказа на их восполнение, а также распределении вновь прибывшей партии заказанной продукции (сырья, материалов и т. п.) по нижестоящим звеньям системы снабжения.

Совокупность правил, по которым принимаются эти решения, реализуется в виде основных методов и моделей управления запасами.

В данной работе рассмотрены наиболее распространенные детерминированные модели управления запасами, чаще всего интегрируемые в MRP-системы. А также проведен их сравнительный анализ на основе расчетов на базе АО «ВЦРТО».

Annotation

The formation of an optimal level of stock at the enterprise, necessary to maintain the continuity of the production process and an acceptable level of customer service throughout the supply chain, is today one of the key logistics management tasks.

In turn, inventory management consists in the reasonable establishment of time points and order volumes for their replenishment, as well as the distribution of the newly arrived batch of ordered products (raw materials, materials, etc.) to the lower levels of the supply system.

The set of rules by which these decisions are made is implemented in the form of basic methods and models of inventory management.

In this paper, the most common deterministic inventory management models, most often integrated into MRP systems, are considered. And also, their comparative analysis was carried out on the basis of calculations on the basis of JSC "VCRTO".

Ключевые слова: склад, управление запасами, детерминированные модели управления запасами, объем заказа, восполнение заказа, эвристический алгоритм Сильвера-Мила, эвристический метод Гроффа, метод баланса затрат, метод наименьших удельных затрат, метод «партия за партией», метод наименьших общих затрат, метод экономического размера заказа, метод периодического размера заказа.

Keywords: warehouse, inventory management, deterministic inventory management models, order volume, order replenishment, Silver-Mill heuristic algorithm, Groff heuristic method, cost balance method, lowest unit cost method, batch-by-batch method, lowest total cost method, economic order size method, periodic order size method.

В настоящее время в экономической литературе представлены как сложные экономико-математические методы и модели управления запасами, использующие формальный аппарат высокого уровня так и более простые, не требующие сложного инструментария для их решения и исключающие трудности в подготовке массивов информации [1].

К наиболее распространенным детерминированным моделям управления запасами, чаще всего интегрируемым в MRP-системы, относятся:

– эвристический алгоритм Сильвера – Мила (Silver – Meal algorithm) [2] (Silver, Meal, 1973);

– эвристический метод Гроффа (Groff’s Rule) [3] (Groff, 1979);

– метод баланса затрат (Part Period Balancing, PPB) [4] (De Matteris, Mendoza, 1968);

– метод наименьших удельных затрат (Least Unit Cost, LUC);

– метод «партия за партией» (Lot For Lot, LFL);

– метод наименьших общих затрат (Least Total Cost, LTC);

– метод экономичного размера заказа (Economic Ordering Quantity, EOQ);

– метод периодического размера заказа. Некоторые из указанных моделей рассмотрены в [5, 6] (Takha, 2001; Badokin, Lukinskiy, Lukinskiy, 2011).

Однако выводы, содержащиеся в указанных работах, представляются неоднозначными. Кроме того, вызывает интерес не только рассмотрение перечисленных моделей на некотором обобщенном примере, но также и их критический анализ с позиций адаптации к практическому применению.

В то же время, следует отметить, что отдельные характеристики и свойства таких методов и моделей остаются практически не рассмотренными в исследованиях специалистов в данной области. Примеры использования отдельных методов в практике управления запасами [7, 8, 9] не дают представления о том, как меняются результаты при изменении соотношений между затратами на хранение запасов (Total Carrying Cost, TCC) и затратами на пополнение (Total Ordering Cost, TOC).

Также слабо изучена зависимость результатов, получаемых на основе наиболее известных методов, от динамики потребления запасов, разброса максимальных-минимальных значений потребности в течение анализируемого (расчетного) периода и ряд других аспектов.

Проведем сравнительный анализ таких известных методов управления запасами, как: эвристический алгоритм Сильвера-Мила (Silver - Meal algorithm), метод наименьших удельных затрат (Least Unit Cost, LUC), метод наименьших общих затрат (Least Total Cost, LTC); метод экономичного размера заказа (Economic Ordering Quantity, EOQ – простой и расширенный).

Эвристические методы базируются на опыте экспертов в данной сфере, которые анализируют данные за каждый отчетный период, а также условия развития рынка, на основе чего дают заключение об оптимальных порогах запасов для организации. Определяющим здесь является субъективное мнение профессионалов о перспективах развития рынка. На должность подобного эксперта может быть назначен служащий, занимающийся вопросами стандартизации запасов.

Динамическая модель контроля запасов (эвристика Сильвера-Мила).

Данная модель предназначена для управления запасами МТР в условиях существенно, но плавно меняющегося известного (предсказуемого) спроса. Как и модель с фиксированным интервалом между заказами, данная модель предусматривает контроль (и пополнение) запасов через определенные (но в данном случае, вообще говоря, неравные) промежутки времени. График пополнения запасов строится таким образом, чтобы по возможности

минимизировать суммарные расходы на пополнение и хранение запасов (поиск абсолютного минимума затрат потребовал бы применения более изощренных и сложных алгоритмов, например, метода динамического программирования; данный же алгоритм, будучи достаточно простым, все-таки дает неплохие результаты).

Процесс вычислений носит итерационный характер и происходит по следующей схеме.

1. Весь период планирования (допустим, год) разбивается на n равных (относительно малых) интервалов (например, недель) и для каждого из этих интервалов определяется ожидаемый объем спроса di (i = 1, 2, ..., n).

2. Вычисляются средние за интервал (в данном случае - за неделю) расходы C(j) на организацию и хранение первой поставки при условии, что она покрывает спрос первых j интервалов (j = 1, 2, ..., n):

$C(1) = сзк$,

$C(2) = (сзк + схр \times d2)/2$,

$C(3) = (сзк + схр \times d2 + 2 \times схр \times d3)/3$,

$C(4) = (сзк + схр \times d2 + 2 \times схр \times d3 + 3 \times схр \times d4)/4$,

……..

1. Процесс увеличения индекса j (начиная с 1) и вычисления средних расходов C(j) продолжается до тех пор, пока их снижение не сменится ростом, т.е. пока не выполнится условие: $C(j+1) > C(j)$. Тогда первая партия поставки (прибытие которой должно произойти к началу первого интервала) планируется так, чтобы покрыть спрос первых j интервалов, т.е. в объеме $d1 + d2 + ... + dj$.

2. Первые j интервалов (для которых пополнение запасов уже запланировано) отбрасываются, и описанный в п.п. 2-3 процесс вычислений повторяется для планирования следующей партии поставки, начиная с (j+1)-го интервала.

Данная модель плохо работает в условиях скачкообразно меняющегося или дискретного спроса.

Метод наименьших удельных затрат (Least Unit Cost – LUC) – многошаговый метод определения размера партии, при котором суммарные затраты, определяемые по периодам аналогично предыдущему методу, делят на общее число изделий за рассматриваемое количество периодов. Полученная величина представляет собой удельные затраты, по минимуму которых определяется размер партии.

Метод наименьших общих затрат (Least Total Cost – LTC) – многошаговый метод, при котором размер партии определяется по результатам сравнения расходов на хранение и затрат на пуско-наладочные работы (или затрат на размещение заказа) при различных размерах партии, а затем выбирается партия, для которой эти затраты примерно равны.

В основе EOQ-модели лежит функция совокупных расходов (TC), которая отражает расходы на приобретение, доставку и хранение запасов.

$$TC = p \times D + \frac{D \times K}{Q} + \frac{H \times Q}{2}$$

(2.1)

p – цена покупки или себестоимость производства единицы запасов;

D – годовая потребность в запасах;

K – стоимость организации заказа (погрузка, разгрузка, упаковка, транспортные расходы);

Q – объем партии поставки.

H – стоимость хранения 1 единицы запасов в течение года (стоимость капитала, складские расходы, страховка и т.п.).

Для того чтобы рассчитать размер оптимальной партии поставки необходимо продифференцировать функцию совокупных расходов относительно переменной Q и приравнять к 0.

$$0 = -\frac{D \times K}{Q^2} + \frac{H}{2}$$

$$Q^2 = -\frac{2 \times D \times K}{H}$$

(2.2)

Решив полученное уравнение относительно переменной Q, мы получим оптимальную партию поставки (EOQ).

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times D \times K}{H}}$$

(2.3)

Продолжение сравнения расчетов проведем на примере предприятия технического сервиса транспортных средств – АО «ВЦРТО».

Все последующие расчеты будут проведены на основе уже введенных числовых данных о потребности АО «ВЦРТО» в производственных запасах на период продолжительностью 12 месяцев (таблица 1).

Предполагается, что потребность в запасах на входе в систему меняется каждый месяц, исходя из заданной величины месячной производственной программы. Все переменные, используемые в расчетах, остаются прежними: постоянные затраты на одно пополнение (партию поставки) не зависят от размера партии и составляют C0 = 2000 д.е.; в расчете затрат на хранение единицы запаса (Ch) применяется классический подход с привязкой к стоимости единицы запаса (p). Принимаем p =10 д.е., а затраты на хранение составляют 20% от p в течение одного месяца хранения единицы запаса.

Таблица 1

Потребность в производственных запасах в течение года

Месяц	Янв.	Фев.	Мар.	Апр.	Май	Июн.	Июл.	Авг.	Сен.	Окт.	Ноя.	Дек.	Итого
Запасы, шт.	50	80	100	120	110	90	70	60	100	120	120	110	1130

Размер партии поставки определяем, двигаясь от последней диагонали в таблице 2.

Таблица 2

Расчет затрат для партий различного размера по алгоритму Вагнера -Уайтина

Конечный интервал для партии поставки	Спрос по месяцам, шт.											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	50	80	100	120	110	90	70	60	100	120	120	110
к — t	2000	4000	4160	4560	5280	6160	7140	7560	8040	8900	9740	10760
к —1+1	2160	4200	4400	4780	5460	6300	7260	7760	8280	9140	9960	-
к —1+2	2560	4680	4840	5140	5740	6540	7660	8240	8760	9580	-	-
к —1+3	3280	5340	5380	5560	6100	7140	8360	8960	9420	-	-	-
к —1+4	4160	-	5940	6040	6900	7740	9320	9840	-	-	-	-

Результаты расчета (таблица 3), показывают, что для обеспечения потребности в запасах на рассматриваемый временной интервал в 12 мес., следует обеспечить три партии поставки в первом, четвертом и девятом месяце, в размерах соответственно: 230, 450 и 450 единиц запаса. При этом затраты на пополнение (Total Ordering Cost, TOC) составят: 3 партии * 2000 д.е./партия = 6000 д.е., а суммарные затраты хранения (Total Carrying Cost, TCC) – 3420 д.е. Таким образом, общие затраты на поддержание производствен-ных запасов (Total Inventory Cost, TIC) в течение 12 мес. составят – 9420 д.е.

Таблица 3

Результаты расчетов по алгоритму Вагнера-Уайтина

Месяц	Спрос, шт.	Партия поставки, шт.	Остаток на складе, шт.	ТОС, д. е.	ТСС, д. е.	ТГС, д. е.
1	50	230	180	2000	360	2360
2	80	-	100	-	200	200
3	100	-	0	-	0	0
4	120	450	330	2000	660	2660
5	110	-	220	-	440	440
6	90	-	130	-	260	260
7	70	-	60	-	120	120
8	60	-	0	-	0	0
9	100	450	350	2000	700	2700
10	120	-	230	-	460	460
11	120	-	110	-	220	220
12	110	-	0	-	0	0
Итого	1130	-	-	6000	3420	9420

В эвристическом методе Гроффа (Groff`s Rule), в отличие от других методов, полагается, что спрос удовлетворяется не мгновенно в начале интервала, а равномерно в течение временного интервала. Согласно данному методу, каждое увеличение размера партии для покрытия спроса в дополнительном периоде целесообразно, если при этом снижение затрат по организации партии имеет большую величину, чем соответствующее увеличение затрат на хранение продукта. Проведенный на основе метода Гроффа расчет размера партии поставки, затрат по хранению и пополнению запасов в течение анализируемого временного интервала представлен в таблице 4.

Таблица 4

Результаты расчетов по методу Гроффа

Месяц	Спрос, шт.	Партия поставки, шт.	Остаток на складе, шт.	ТОС, д. е.	ТСС, д. е.	ТГС, д. е.

1	50	350	300	2000	600	2600
2	80	-	220	-	440	440
3	100	-	120	-	240	240
4	120	-	0	-	0	0
5	110	330	220	2000	440	2440
6	90	-	130	-	260	260
7	70	-	60	-	120	120
8	60	-	0	-	0	0
9	100	450	350	2000	700	2700
10	120	-	230	-	460	460
11	120	-	110	-	220	220
12	110	-	0	-	0	0
Итого	1130	-	-	6000	3480	9480

По итогам расчета с использованием эвристического метода Гроффа следует отметить, что потребность в запасах обеспечивается тремя партиями поставки в первом, пятом и девятом месяцах, в объемах: 350, 330 и 450 единиц запаса соответственно. Затраты на хранение запасов в течение 12 месяцев составят при этом 3480 д.е., а общие затраты поддержания запасов – 9480 д.е.

Метод баланса затрат (Part Period Balancing, PPB) дал в нашем случае следующие результаты, представленные в таблице 5.

Таблица 5

Результаты расчетов по методу баланса затрат

Месяц	Спрос, шт.	Партия поставки, шт.	Остаток на складе, шт.	TOC, д. е.	TCC, д. е.	TIC, д. е.
1	50	350	300	2000	600	2600
2	80	-	220	-	440	440
3	100	-	120	-	240	240
4	120	-	0	-	0	0
5	110	430	320	2000	640	2640
6	90	-	230	-	460	460

7	70	-	160	-	320	320
8	60	-	100	-	200	200
9	100	-	0	-	0	0
10	120	350	230	2000	460	2460
11	120	-	110	-	220	220
12	110	-	0	-	0	0
Итого	1130	-	-	6000	3580	9580

Наконец, расчеты по методу периодического размера заказа (Periodic Ordering Quantity, POQ) дают нам значения: величины среднего спроса в одном периоде - Dср=94,16 шт. и оптимальной партии поставки Q*=433,9 шт. (рассчитывается по формуле EOQ). Таким образом «экономичный» период поставки, в данном случае будет равен: T*=Q*/Dср=434/94,16=4,6 мес. Исходя из этого величина T* может составить: T*=4 мес. или T*=5 мес. (поскольку период поставки должен быть целым числом). Расчеты размеров партий поставок, их привязка к периодам поставки и величины затрат при T*=4 мес. приводятся в таблице 6.

Таблица 6

Результаты расчетов по методу периодического размера заказа, T*=4 мес.

Месяц	Спрос, шт.	Партия поставки, шт.	Остаток на складе, шт.	ТОС, д. е.	ТСС, д. е.	ТІС, д. е.
1	50	350	300	2000	600	2600
2	80	-	220	-	440	440
3	100	-	120	-	240	240
4	120	-	0	-	0	0

5	110	330	220	2000	440	2440
6	90	-	130	-	260	260
7	70	-	60	-	120	120
8	60	-	0	-	0	0
9	100	450	350	2000	700	2700
10	120	-	230	-	460	460
11	120	-	110	-	220	220
12	110	-	0	-	0	0
Итого	1130	-	-	6000	3480	9480

В свою очередь, принимая значение периода поставки T*=5 мес. получим следующие результаты (таблица 7). Сравнение полученных результатов при различных значениях периода поставки: T*=4 мес. и T*=5 мес. показывает, что во втором случае суммарные (общие) издержки поддержания запасов будут выше (10320 д.е. против 9480 д.е. при T*=4 мес.), исходя из чего вариант T*=5 мес. для обеспечения потребности в запасах не рассматривается (должен быть исключен).

Таблица 7

Результаты расчетов по методу периодического размера заказа T*=5 мес.

Месяц	Спрос, шт.	Партия поставки, шт.	Остаток на складе, шт.	ТОС, д.е.	ТСС, д.е.	ТИС, д.е.
1	50	460	410	2000	820	2820
2	80	-	330	-	660	660
3	100	-	230	-	460	460
4	120	-	110	-	220	220
5	110	-	0	-	0	0
6	90	440	350	2000	700	2700
7	70	-	280	-	560	560
8	60	-	220	-	440	440
9	100	-	120	-	240	240
10	120	-	0	-	0	0

11	120	230	110	2000	220	2220
12	110	-	0	-	0	0
Итого	1130	-	-	6000	4320	10320

Количество поставок и их периодичности с использованием методов: наименьших удельных затрат (LUC), экономичного размера заказа (EOQ простой и расширенный), наименьших общих затрат (LTC) и эвристического алгоритма Сильвера-Мила (Silver - Meal algorithm), общее сравнение результатов, полученных на основе всех рассмотренных методов, сведено в таблицу 8.

Таблица 8

Сравнение полученных результатов расчета

Метод	TOC, д.е.	TCC, д.е.	TIC, д.е.	Ранг результата
Алгоритм Вагнера-Уайтина (Wagner-Whiting algorithm)	6000	3420	9420	1
Эвристический алгоритм Сильвера-Мила (Silver - Meal algorithm)	6000	3480	9480	2
Эвристический метод Гроффа (Groff s Rule)	6000	3480	9480	
Метод периодического размера заказа (POQ)	6000	3480	9480	
Метод баланса затрат (PPB)	6000	3580	9580	3

Метод наименьших удельных затрат (LUC)	6000	4320	10320	4
Метод наименьших общих затрат (LTC)	6000	4320	10320	
Метод экономичного размера заказа (EOQ простой)	5207	5208	10415	5
Метод экономичного размера заказа (EOQ расширенный)	6000	5656	11656	6

Исходя из полученных результатов, можно сделать некоторые выводы относительно особенностей применения рассмотренных моделей управления запасами детерминированного класса:

– результат был получен на основе алгоритма Вагнера-Уайтина, за счет наименьшего значения затрат на хранение запасов из всех вариантов, полученных с использованием других методов;

– три из рассмотренных методов дали абсолютно идентичный результат (эвристические алгоритмы Сильвера-Мила, Гроффа и метод периодического размера заказа). Также следует отметить, что отклонения результатов, полученных с использованием указанных методов, от лучшего результата, составили менее 1%. При этом алгорим Вагнера-Уайтина является достаточно трудоемким и требует большего объема счетных процедур по сравнению с остальными;

– метод баланса затрат показал третий по рангу результат, с отклонением от лучшего значения менее 2%;

– остальные методы (наименьших удельных затрат, наименьших общих затрат, простой и расширенный EOQ) показали значения с отклонением от лучшего результата в диапазоне от 9,5% до 23,7%;

– все рассмотренные методы в процессе расчетов предусматривали организацию пополнения запасов тремя партиями поставки (но с разными точками пополнения), в результате чего затраты на поставку очередных партий запаса оказались во всех случаях идентичными. При этом экономия суммарных затрат достигалась только за счет затрат на хранение запасов;

– в условиях реального управления, когда параметры системы примерно соответствуют допущениям рассмотренной нами ситуации, можно рекомендовать применение таких методов как: метод периодического размера заказа, эвристический метод Гроффа или эвристический алгоритм Сильвера-Мила. Поскольку при своей относительной простоте и малой трудоемкости использования они дают достаточно достоверные, и приближенные к оптимальному, результаты.

Литература

1. Полуэктов В. А., Якутин Е. М. Сравнительный анализ методов управления запасами при неравномерном спросе // Организатор производства. 2021.
2. Silver E. A., Meal H. C. A Heuristic for Selecting Lot Size Requirements for the Case of a Deterministic Time-Varying Demand Rate and Discrete Opportunities for Replenishment // Productions and Inventory Management. 1973. №14. С. 64-74.
3. Groff G. A lot Sizing Rule for Time Phased Component Demand // Production and Inventory Management. 1979. №20. С. 47-53.
4. De Matteris J. J., Mendoza A. G. An Economic Lot Sizing Technique // IBM Systems Journal. 1968. №7. С. 30-46.

5. Таха Хэмди А. Введение в исследование операций. / 6-у издание: Пер с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. -912 с.
6. Бадокин О. В., Лукинский В. В., Лукинский В. С. Управление запасами в цепях поставок. / Учеб. Пособие / под общ. и научн. ред. В. С. Лукинского. -СПб: СПбГИЭУ, 2011. – 284 с.
7. Лукинский В. В. Актуальные проблемы формирования теории управления запасами. СПб: СПбГИЭУ, 2008. 213 с.
8. Штрайбфедер Дж. Эффективное управление запасами: пер. с англ. 3-у изд. М.: Альпина Паблишер, 2016. 304 с.
9. Мауэргауз Ю. Е. «Продвинутое» планирование и расписание (AP&S) в производстве и цепочках поставок. М.: Экономика, 2012. 574 с.

Literature

1. Poluektov V. A., Yakutin E. M. Comparative analysis of inventory management methods in uneven demand // Organizer of production. 2021.
2. Silver E. A., Meal H. C. A Heuristic for Selecting Lot Size Requirements for the Case of a Deterministic Time-Varying Demand Rate and Discrete Opportunities for Replenishment // Productions and Inventory Management. 1973. No.14. pp. 64-74.
3. Groff G. A lot Sizing Rule for Time Phased Component Demand // Production and Inventory Management. 1979. No. 20. pp. 47-53.
4. De Matteris J. J., Mendoza A. G. An Economic Lot Sizing Technique // IBM Systems Journal. 1968. No. 7. pp. 30-46.
5. Taha Hamdi A. Introduction to Operations Research. / 6th edition: Translated from English – Moscow: Publishing House "Williams", 2001. -912 p.
6. Badokin O. V., Lukinsky V. V., Lukinsky V. S. Inventory management in supply chains. / Studies. The manual / under the total. and scientific ed. by V. S. Lukinsky. -St. Petersburg: SPbSUE, 2011. – 284 p.
7. Lukinsky V. V. Actual problems of formation of the theory of inventory management. St. Petersburg: SPbSUE, 2008. 213 p.

8. Streibfeder J. Effective inventory management: translated from English 3rd ed. M.: Alpina Publisher, 2016. 304 p
9. Mauergauz Yu. E. "Advanced" planning and scheduling (AP&S) in production and supply chains. M.: Economics, 2012. 574 p.

© Семенов Д.А., Чичик И.А., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022

Для цитирования: Семенов Д.А., Чичик И.А. ПРИМЕНЕНИЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ПРИМЕРЕ АО «ВЦРТО»// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022