DOI: 10.36622/VSTU.2021.28.96.009

УДК 658.74.018.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ СПРОСЕ

В.А. Полуэктов

Новосибирский государственный технический университет
Россия, 630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20

Е.М. Якутин

НИЦ Оптимум
Россия, 630054, Новосибирск, ул. Плеханова, 27/1

Введение. Статья является продолжением исследования авторов, посвященного сравнению наиболее известных и распространенных методов управления запасами. В настоящей статье представлены результаты расчетов числового примера по ряду алгоритмов, приведен сравнительный анализ полученных данных, сформулированы рекомендации по использованию рассмотренных методов на практике, при условии соответствия допущениям, заложенным в приведенных расчетах.

Данные и методы. В статье проведены расчеты общих затрат на поддержание запасов такими методами, как алгоритм Вагнера-Уайтина (Wagner-Whiting algorithm), эвристический метод Гроффа (Groff's Rule), метод баланса затрат (Part Period Balancing, PPB), метод периодического размера заказа (Periodic Ordering Quantity, POQ). Результаты указанных расчетов объединены с полученными ранее в предыдущей публикации по данной проблематике. Сравнение полученных результатов позволило выделить на основе ранжирования наиболее оптимальные методы управления запасами в условиях сделанных допущений.

Полученные результаты. Авторами сформулированы выводы относительно применения рассмотренных методов управления запасами на практике. Исходя из соотнесения отдельных элементов общих затрат на поддержание запасов даны соответствующие рекомендации. Выделены проблемы при определении размеров оптимальных партий пополнения запасов в случаях, когда на практике реальные условия (переменные модели) будут существенно отличаться от условий рассмотренного числового примера.

Заключение. Результаты представленной публикации могут быть использованы на практике хозяйствующими субъектами, деятельность которых связана с созданием и поддержанием значительных объемов запасов, в целях оптимизации партий их поставок по критерию минимума общих затрат на хранение и пополнение

Ключевые слова: управление запасами, методы управления запасами, схема поставки, партия поставки, время поставки, затраты на поддержание запасов, неравномерный спрос.

Сведения об авторах:

Владимир Александрович Полуэктов (poluektov@corp.nstu.ru), канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры «Менеджмент»
Евгений Михайлович Якутин (e.yakutin@ngs.ru), канд. экон. наук, доцент, бизнес-консультант

Oh authors:

Vladimir A. Poluektov (poluektov@corp.nstu.ru), Cand. Sci. (Economic), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Management
Evgeniy M. Yakutin (e.yakutin@ngs.ru), Cand. Sci. (Economic), Assistant Professor, Business-adviser

Для цитирования:

Полуэктов В.А., Якутин Е.М. Сравнительный анализ методов управления запасами при неравномерной потребности // Организатор производства. 2021. Т.29. № 1. С. 106-113. DOI: 10.36622/VSTU.2021.28.96.009.

COMPARATIVE ANALYSIS OF INVENTORY MANAGEMENT METHODS IN CASE OF UNEVEN DEMAND

Poluektov V.A.

*Novosibirsk State Technical University
20, K. Marks Avenue, Novosibirsk, Russia, 630073*

Yakutin E.M.

*Optimum Research Centre
27/1, Plakhotnogo St., Novosibirsk, Russia, 630054*

Introduction. *The article is a continuation of the authors' research on the comparison of the most well-known and common methods of inventory management. This article presents the results of numerical calculations of example, a number of algorithms, a comparative analysis of the data obtained, recommendations for using the methods in practice, provided that the assumptions used in the calculations.*

Data and methods. *The article calculates the total cost of maintaining inventory using such methods as the Wagner-Whiting algorithm, the Groff's Rule heuristic method, the Part Period Balancing (PPB) method, and the Periodic Ordering Quantity (POQ) method. The results of these calculations are combined with those obtained earlier in the previous publication on this issue. A comparison of the results obtained allowed us to identify, on the basis of ranking, the most optimal methods of inventory management, under the conditions of the assumptions made.*

The received results. *The authors draw conclusions about the application of the considered methods of inventory management in practice. Based on the correlation of individual elements of the total cost of maintaining stocks, appropriate recommendations are given. Problems are identified in determining the size of optimal replenishment batches in cases where in practice the real conditions (model variables) will differ significantly from the conditions of the considered numerical example.*

Conclusion. *The results of the presented publication can be used in practice by economic entities whose activities are associated with the creation and maintenance of significant volumes of stocks, in order to optimize the batches of their supplies according to the criterion of the minimum total cost of storage and replenishment.*

Key words: *inventory management, inventory management methods, delivery scheme, delivery batch, delivery time, inventory maintenance costs, uneven demand.*

For citing: Poluektov V.A., Yakutin E.M. (2021) Comparative analysis of inventory management methods in case of uneven demand // Production Organizer. 2021. Т. 29. № 1. Р. 106-113. DOI: 10.36622/VSTU.2021.28.96.009.

Введение

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 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 – 4]. 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 [1, 2, 4] 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.

Данные и методы

В связи с указанным, в предыдущей публикации [5], авторами был проведен 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 экономического

размера заказа (Economic Ordering Quantity, EOQ – простой и расширенный).

В продолжение сравнения результатов, которые могут быть получены при использовании альтернативных вариантов управления запасами, в данной публикации, были приняты к дальнейшему рассмотрению, такие методы как: алгоритм Вагнера-Уайтина (Wagner-Whiting algorithm) [4, 6], эвристический метод Гроффа (Groff's Rule) [4, 7], метод баланса затрат (Part Period Balancing, PPB) [4, 8] и периодический размер заказа (Periodic Ordering Quantity, POQ) [4].

Все последующие расчеты будут проведены на основе уже введенных в предыдущей публикации числовых данных о потребности некоторой фирмы в производственных запасах на период продолжительностью 12 месяцев (таблица 1).

Также, как и ранее, 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 $C_0 = 2000$ д.е.; в расчете затрат на хранение единицы запаса (C_h) 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

The need for production stocks during the year

Месяц	Янв. (1)	Фев. (2)	Мар. (3)	Апр. (4)	Май (5)	Июн. (6)	Июл. (7)	Авг. (8)	Сен. (9)	Окт. (10)	Ноя. (11)	Дек. (12)	Итого
Запасы, шт.	50	80	100	120	110	90	70	60	100	120	120	110	1130

Источник: составлено авторами по материалам [5]

Полученные результаты

Реализация счетных процедур, проведенных по алгоритму Вагнера-Уайтина (Wagner-Whiting algorithm) представлена в таблицах 2, 3. Мы не приводим детальных объяснений последовательности проведения расчетов, поскольку сам алгоритм достаточно подробно рассмотрен в работах других авторов [4, 6]. Просто отметим,

что каждая строка таблицы 2 соответствует наибольшему номеру интервала, спрос в котором обеспечивается партией, поставляемой в интервале t ; в ячейках таблицы представлены значения затрат на пополнение партии и ее хранение до интервала k , начиная с интервала t с последней поставкой [4]. Размер партии поставки определяем, двигаясь от последней диагонали в таблице 2.

Таблица 2

Расчет затрат для партий различного размера по алгоритму Вагнера - Уайтина
Calculating costs for batches of different sizes according to the Wagner-Whiting algorithm

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
$k = t$	2000	4000	4160	4560	5280	6160	7140	7560	8040	8900	9740	10760
$k = t+1$	2160	4200	4400	4780	5460	6300	7260	7760	8280	9140	9960	-
$k = t+2$	2560	4680	4840	5140	5740	6540	7660	8240	8760	9580	-	-
$k = t+3$	3280	5340	5380	5560	6100	7140	8360	8960	9420	-	-	-
$k = t+4$	4160	-	5940	6040	6900	7740	9320	9840	-	-	-	-

Источник: рассчитано авторами

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 $\times$ 2000 д.е./партия = 6000 д.е., а суммарные затраты хранения (Total Carrying Cost, TCC) – 3420 д.е. Таким образом, общие затраты на поддержание производственных запасов (Total Inventory Cost, TIC) в течение 12 мес. составят – 9420 д.е.

Таблица 3

Результаты расчетов по алгоритму Вагнера-Уайтина
The results of calculations on the Wagner-Whiting algorithm

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

Источник: рассчитано авторами

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 [4, 7]. Проведенный на основе метода Гроффа расчет размера партии поставки, затрат по хранению и пополнению запасов в течение анализируемого временного интервала представлен в таблице 4. 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.

Таблица 4

Результаты расчетов по методу Гроффа
The results of the calculations under the Groff rule

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

Источник: рассчитано авторами

Метод баланса затрат (Part Period Balancing, PPB), при котором определение основных параметров в системе управления запасами ведется способом, подробно рассмотренным в [4, 8], дал в нашем случае следующие результаты, представленные в таблице 5.

Наконец, расчеты по методу периодического размера заказа (Periodic Ordering Quantity, POQ) [4] дают нам значения: величины среднего спроса в одном периоде – $D_{cp}=94,16$ шт. и опти-

мальной партии поставки $Q^*=433,9$ шт. (рассчитывается по формуле EOQ). Таким образом «экономичный» период поставки, в данном случае будет равен: $T^*=Q^*/D_{cp}=434/94,16=4,6$ 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 5

Результаты расчетов по методу баланса затрат
Calculation results using the Part Period Balancing method

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

Источник: рассчитано авторами

Таблица 6

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

 The results of calculations using the Periodic Ordering Quantity method, $T^*=4$ months

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

Источник: рассчитано авторами

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.

 The results of calculations using the Periodic Ordering Quantity method, $T^*=5$ months

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

Источник: рассчитано авторами

Обсуждение результатов

С учетом ранее проведенных авторами, на основе данного числового примера, расчетов значений ТИС, а также количества поставок и их периодичности с использованием методов: наименьших удельных затрат (LUC), экономического 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 (представленных как в [5], так и в настоящей статье), сведено в таблицу 8.

Таблица 8

Сравнение полученных результатов расчета
Comparison of the obtained calculation results

Метод	ТОС, д.е.	ТСС, д.е.	ТИС, 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 экономического размера заказа (EOQ простой)	5207	5208	10415	5
Метод экономического размера заказа (EOQ расширенный)	6000	5656	11656	6

Источник: составлено авторами по материалам [5] и полученным результатам расчетов в табл.2-6

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

1) в условиях заданного числового примера лучший результат был получен на основе алгоритма Вагнера-Уайтина, за счет наименьшего значения затрат на хранение запасов из всех вариантов, полученных с использованием других методов;

2) 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 алгоритм Вагнера-Уайтина является достаточно трудоемким и требует большего объема счетных процедур по сравнению с остальными;

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

4) 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%;

5) 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;

6) 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.

Заключение

Вместе с тем, полученные результаты и выводы не могут быть интерпретированы однозначно, поскольку не является очевидным, какой из рассмотренных методов окажется наиболее эффективным при условиях других допущений. В частности, какими будут размеры оптимальных партий, их количество в течение планового периода, циклы их потребления, частота пополнения и точки заказа, а, соответственно, и основные компоненты совокупных затрат на поддержание запасов в случаях если:

1) потребность в запасах в течение планового периода будет нарастать по отдельным его отрезкам;

2) потребность в запасах будет убывать;

3) затраты на хранение будут составлять большую (или меньшую) относительную величину от стоимости запасов;

4) затраты, связанные с пополнением, будут некоторым образом дифференцироваться в зависимости от величины партий поставки.

Кроме того, отдельного рассмотрения требуют ситуации возникновения дефицита, переходящих запасов, поддержания страхового запаса и определения его оптимальной величины и некоторые другие.

Рассмотрению указанных вопросов будут посвящены последующие публикации авторов.

Библиографический список

1. Лукинский В. В. Актуальные проблемы формирования теории управления запасами. СПб: СПбГИЭУ, 2008. 213 с.
2. Штрайбфедер Дж. Эффективное управление запасами: пер. с англ. 3-е изд. М.: Альпина Паблишер, 2016. 304 с.
3. Taha H. A. Operations Research: An Introduction. 10th Edition. Pearson, 2017. 848 p.
4. Мауэргаз Ю.Е. «Продвинутое» планирование и расписания (AP&S) в производстве и цепочках поставок. М.: Экономика, 2012. 574 с.
5. Мамонов В.И., Полуэктов В.А., Якутин Е.М. Проблемы применения детерминированных моделей управления запасами// Российское предпринимательство. 2017. Том 18. №11. С. 1741-1750.
6. Wagner H.M., Whitin T. M. Dynamic Version of the Economic Lot Size Model// Management Science. 1958. Vol. 5 P. 89-96.
7. Groff G. A lot Sizing Rule for Time Phased Component Demand// Production and Inventory Management. 1979. Vol. 20. P.47-53.
8. De Matteris J.J., Mendoza A.G. An Economic Lot Sizing Technique// IBM Systems Journal. 1968. Vol.7. P.30-46.

Поступила в редакцию – 14 января 2021 г.

Принята в печать – 20 января 2021 г.

Bibliography

1. Lukinskiy V.V. (2008) Actual problems of formation of the theory of inventory management. Saint Petersburg, SPbGIEU, 213 p. (In Russ.).
2. Schreibfeder Jon. (2016) Achieving effective inventory management Trans. from English. 3th Edition. Moscow, Alpina Publisher, 304 p. (In Russ.).
3. Taha H. A. (2017) Operations Research: An Introduction. 10th Edition. Pearson, 848 p.
4. Mauergauz Yu.E. (2012) "Advanced" planning and scheduling (AP&S) in production and supply chains. Moscow, Ekonomika, 574 p. (In Russ.).
5. Mamonov V.I., Poluektov V.A., Yakutin E.M. (2017) Problems of application of deterministic models of inventory management. *Rossiyskoe predprinimatelstvo*= Russian journal of entrepreneurship, 18(11), 1741-1750. (In Russ.).
6. Wagner H.M., Whitin T.M. (1958) Dynamic Version of the Economic Lot Size Model. Management Science, Vol. 5, 89-96.
7. Groff G.A. (1979) lot Sizing Rule for Time Phased Component Demand. Production and Inventory Management, Vol. 20, 47-53.
8. De Matteris J.J., Mendoza A.G. (1968) An Economic Lot Sizing Technique. IBM Systems Journal, Vol.7, 30-46.

Received – 14 January 2021

Accepted for publication – 20 January 2021