УДК 658.7

А.Ю. Тюрин, профессор, д-р экон. наук
(КузГТУ, г. Кемерово)
Tyurin A.Yu., professor, D.Sc. (Economy)
(KuzSTU, Kemerovo)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ПАРТИИ ПОСТАВКИ ПРОДУКЦИИ ПОТРЕБИТЕЛЮ

DETERMINING THE SIZE OF THE BATCH FOR DELIVERY OF PRODUCTS TO THE CONSUMER

В статье рассматриваются вопросы определения размера партии поставки продукции потребителю. Указывается важность влияния экономического, технологического и организационного факторов на размер партии поставки. На основе различных методов приводятся примеры расчета объемов партий поставки за календарный год потребителю.

The article examines issues of determining the size of a delivery lot for products to the consumer. It indicates the importance of the influence of economic, technological and organizational factors on the size of a delivery lot. Based on various methods, examples of calculating the volumes of delivery lots for a calendar year to the consumer are given.

Определение размера партии поставки является актуальной задачей и позволяет согласовать производственные, транспортные и складские процессы с целью минимизации затрат на продвижение товара к потребителю [1]. В прямой цепи поставок [2] (см. рисунок) взаимодействуют поставщик, фокусная компания (производитель) и потребитель. Слева направо по цепи осуществляется перемещение материального потока (товара), размер которого определяется экономическими, технологическими, организационными и другими факторами. Классическая модель управления поставками предполагает определение оптимального размера заказа – EOQ. При этом учитываются экономические показатели, связанные с доставкой заказа и хранением товара на складах.

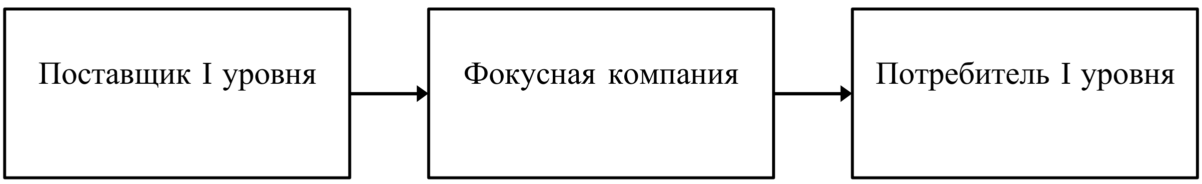

Рисунок – Прямая цепь поставок

Для определения оптимального размера заказа (объема поставки) используется формула Уилсона.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2AS}{iC}}\,, \qquad (1)$$

где A – затраты на выполнение одного заказа, р.,

S – объем потребности в запасе за период, шт.,

C – закупочная цена единицы товара, р.

i – доля закупочной цены единицы запаса, приходящаяся на затраты по содержанию запаса.

Общие затраты на доставку и управление запасами определяются по формуле

$$TC = \frac{S}{Q}A + \frac{Q}{2}iC\,, \qquad (2)$$

где Q – размер заказа, шт.

Чисто технологический подход к определению размера партии предусматривает учет технологии производства, размещения товара в транспортном средстве для доставки потребителям [3] и способов хранения продукции на складах. Организационные факторы предусматривают координацию процессов производства и распределения продукции в цепи поставок [4, 5].

Существуют статические и динамические модели управления запасами. В статических моделях можно применять формулу Уилсона с некоторыми допущениями. В частности, в данной формуле учитывается мгновенная доставка, что на практике совсем не так (организационный фактор), спрос на продукцию считается постоянным, расчет применяется для одного наименования запаса (технологический фактор), затраты на выполнение заказа и цены на закупку заказа постоянные (экономический фактор) и т.д.

Поэтому чаще всего применяются динамические модели управления запасами, в которых учитываются недостатки статических моделей. В частности, в [6,7] изучена задача определения размера партии с кусочно-линейной функцией транспортных затрат, когда у поставщика есть возможность осуществлять прямые поставки полностью загруженными грузовыми автомобилями (TL) или осуществлять сборные перевозки (LTL).

Для получения количественных результатов размера партии поставки используются точные и эвристические методы. Рассмотрим методы определения размера партии поставки на участке прямой цепи поставки «фокусная компания-потребитель».

1. Точное решение.

Верное и точное решение было предложено в работе Вагнера и Уайтина [8]; сегодня оно известно как алгоритм Вагнера–Уайтина. Предположим, что спрос D_t распределен на определенное количество временных интервалов t = 1, 2, ... h; также известны затраты S_t на обработку одного заказа (доставку) и затраты i_t на хранение единицы измерения в течение одного временного интервала. Обозначим как $F(t)$ затраты, связанные с доставкой партии и хранением за периоды с 1 по t:

$$F(t) = \min \begin{bmatrix} \min\limits_{1 \le j < t} \left[S_j + \sum\limits_{h=j}^{t-1} \sum\limits_{k=h+1}^{t} i_h D_k + F(j-1) \right] \\ S_t - F(t-1) \end{bmatrix} \tag{3}$$

где $F(1)=S_1$ и $F(0)=0$.

Рассмотрим пример. Исходные данные представлены в таблице 1. Здесь представлены прогнозные значения спроса D_t по месяцам в течение года, затраты S_t на обработку одного заказа (доставку) и затраты i_t на хранение единицы измерения в течение месяца. Начальные запасы на начало 1 месяца принимаем равными нулю. Издержки хранения будем рассчитывать на начало месяца, следующего за расчетным месяцем.

Таблица 1 – Исходные данные

Месяц (t)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Среднее
D_t	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41	100
S_t	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
i_t	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Согласно выражению (3) рассмотрим процесс получения оптимальных партий поставок по периодам года.

Для 1 месяца (t=1) возможна только поставка на этот период без хранения продукции на складе. Отсюда $F(1)= S_1=54$.

Для 1 и 2 месяца (t=2) возможны 2 ситуации: поставка продукции в 1 период времени сразу на 2 месяца с хранением продукции на складе или отдельно две поставки в 1 месяц и во 2 месяц.

Для первого случая при j=1 имеем $F(2)=S_1+i_1 \cdot D_2+F(0)=54+0{,}4 \cdot 62+$ $+0 = 78{,}8$.

Для второго случая имеем $F(2)=S_2+F(1)=54+54=108$.

Согласно выражению (3) минимальное значение 78,8 соответствует поставке продукции в 1 период времени сразу на 2 месяца с хранением продукции на складе.

Аналогичным образом рассчитаем оставшиеся значения для всех t. Результаты представлены в таблице 2. В ней жирным шрифтом отмечены значения затрат при прямых поставках продукции в этот период времени по нижней части выражения (3).

Чтобы получить оптимальную программу поставок за год двигаемся с конца в начало таблицы 2. Для этого в 12 месяце в столбце t=12 находим минимальное значение 501,2. Это будут суммарные издержки при оптимальной политике поставок и хранения за год. Дополнительно эта цифра по горизонтали указывает на 11 месяц, следовательно, поставка продукции для 12 месяца осуществлялась как минимум в 11 месяце. Чтобы точно определить периоды и значения поставок, двигаемся далее справа налево.

Таблица 2 – Расчетные значения

Месяц (t)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S_t	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
D_t	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41
1	**54**	78,8	88,4	244,4	490,8	748,8	960	1105	1502	2078	3030	3210
2		**108**	112,8	216,8	401,6	608	784	908,8	1256	1768	2624	2788
3			**132,8**	184,8	308	462,8	603,6	707,6	1005	1453	2214	2362
4				**142,4**	204	307,2	412,8	496	744	1128	1794	1925
5					**196,4**	248	318,4	380,8	579,2	899,2	1470	1585
6						**250,4**	285,6	327,2	476	732	1208	1306
7							**302**	322,8	422	614	994,8	1076
8								**339,6**	389,2	517,2	802,8	868,4
9									**376,8**	440,8	631,2	680,4
10										**430,8**	526	558,8
11											**484,8**	501,2
12												**538,8**
min	54	78,8	88,4	142,4	196,4	248	285,6	322,8	376,8	430,8	484,8	501,2

В 11 месяце в столбце t=11 находим минимальное значение 484,8. Эта цифра по горизонтали указывает на 11 месяц, следовательно, была поставка продукции сразу для 11 и 12 месяцев размером 238+41=279.

В 10 месяце в столбце t=10 находим минимальное значение 430,8. Эта цифра по горизонтали указывает на 10 месяц, следовательно, была поставка продукции только для 10 месяца размером 160. Аналогичная ситуация складывается для 9 месяца. Окончательно оптимальная программа поставок продукции представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Оптимальная программа поставок продукции

Месяц (t)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S_t	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
D_t	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41
Поставки	84			130	283		140		124	160	279	

Результаты таблицы 3 показывают, что в 1 месяце необходимо осуществить поставку размером 84 для 1, 2 и 3 месяцев суммарно. В 4 месяце осуществляется поставка только для этого месяца размером 130, в 5 месяце – для 5 и 6 месяцев суммарно размером 283, в 7 месяце – для 7 и 8 месяцев суммарно размером 140, в 9 и 10 месяце – только для своих периодов размером соответственно 124 и 160 и в 11 месяце – для 11 и 12 месяцев суммарно размером 279.

2. Балансировка по частям периода.

При расчете EOQ с использованием (1) затраты на хранение в точности равны затратам на управление партией. Такое равенство невозможно для задач с переменным спросом; однако мы можем попытаться определить размеры партий таким образом, чтобы вышеуказанные затраты были близки друг к другу. Соответствующий алгоритм был предложен Де Маттейсом и Мендосой [9] и известен как балансировка по частям периода. Согласно этому методу, первое предложение покрывает спрос за n периодов, количество которых определяется следующим неравенством:

$$iC\sum_{j=2}^{n}(j-1)D_j \le A \le iC\sum_{j=2}^{n+1}(j-1)D_j \qquad (4)$$

Это неравенство означает, что новое предложение в период n+1 должно иметь место, если затраты на хранение последней партии превышают затраты на организацию новой партии при условии покрытия спроса. Чтобы проиллюстрировать, как применяется этот метод, используем данные таблицы 1. Для этого введем обозначения $A = S_t = 54$ и $iC = i_t = 0{,}4$.

Поскольку первая партия автоматически покрывает спрос в период 1, мы начнем с периода n=2: $iC\sum_{j=2}^{2}(2-1)D_2 = 0{,}4\cdot 1\cdot 62 = 24{,}8 < A = 54$, и, следовательно, новая поставка не нужна.

Для n=3 имеем $0{,}4\cdot 1\cdot 62 + 0{,}4\cdot 2\cdot 12 = 34{,}4 < A = 54$, и здесь также новая поставка не нужна.

Для n=4 получим $0{,}4\cdot 1\cdot 62 + 0{,}4\cdot 2\cdot 12 + 0{,}4\cdot 3\cdot 130 = 190{,}4 > A = 54$, и уже требуется новая поставка.

Отсюда следует, что в 1 месяце необходимо осуществить поставку размером 10+62+12=84 для 1, 2 и 3 месяцев суммарно.

Начинаем с 4 месяца при n=1 и проверяем следующий 5 месяц при n=2: $0{,}4\cdot 1\cdot 154 = 61{,}6 > A = 54$, и требуется новая поставка.

Отсюда следует, что в 4 месяце осуществляется поставка только для этого месяца размером 130. Аналогичным образом проверяем вплоть до 12 месяца включительно. Окончательно программа поставок продукции представлена в таблице 4. При этом суммарные издержки при выбранной политике поставок и хранения за год составят 501,2. Результаты расчетов поставок в таблице 4 соответствуют результатам из таблицы 3, т.е. оптимальной программе поставок продукции.

Таблица 4 – Программа поставок продукции

Месяц (t)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D_t	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41
Поставки	84			130	283		140		124	160	279	

3. Периодическая поставка.

Некоторые потребители, которые регулярно получают поставки от надежных поставщиков, широко используют простую модель управления запасами, которая характеризуется фиксированным сроком поставки. Если спрос является переменным, хотя и прогнозируемым, можно определить фиксированный период поставки, что позволяет снизить затраты, связанные с управлением партиями и хранением. В этом случае каждый заказ станет переменным или периодическим.

Опять для иллюстрации метода решения используем данные таблицы 1. Для этого рассчитаем средний уровень спроса за 1 период:

$$\overline{D} = \frac{1}{12}\sum_{t=1}^{12} D_t = 100$$

Если бы такой уровень спроса был постоянным, оптимальный размер поставки (EOQ) был бы следующим (на основе формулы 1): $A = S_t = 54$ и $iC = i_t = 0{,}4$.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2A\overline{D}}{iC}} = \sqrt{\frac{2\cdot 54\cdot 100}{0{,}4}} = 164$$

Дополнительно рассчитаем оптимальный интервал времени между очередными поставками по формуле

$$T^* = Q^* \big/ \overline{D} = 164/100 = 1{,}64.$$

Так как интервал должен быть целым числом, примем $T^* = 2$, т.е. через каждые 2 месяца будем осуществлять поставки. Программа поставок продукции представлена в таблице 5. При этом суммарные издержки при выбранной политике поставок и хранения за год составят: 54·6+0,4·(62+130+129+52+160+41)= 553,2.

Подводя итог, можно отметить, что наилучшие результаты по суммарным издержкам поставок и хранения за год показали метод Вагнера-Уайтина и алгоритм балансировки по частям периода – 501,2. Худший результат – метод периодической поставки (553,2).

Таблица 5 – Программа поставок продукции

Месяц (t)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D_t	10	62	12	130	154	129	88	52	124	160	238	41
Поставки	72		142		283		140		284		279	

Данный факт показывает, что в динамических системах с непостоянным спросом лучше подходит гибкая настройка интервалов и объемов поставок продукции либо точными, либо эвристическими методами. При большом горизонте планирования можно использовать эвристический подход, который дает небольшое отклонение в затратах от точного решения.

Список литературы

1. Тюрин, А.Ю. Транспортно-логистическое обслуживание цепей поставок пищевой промышленности: дис. ... докт. экон. наук. – Ростов-на-Дону: РГСУ, 2013. – 340 с.
2. Логистика : интеграция и оптимизация логистических бизнес-процессов в цепях поставок / В. В. Дыбская и др. ; под ред. В. И. Сергеева ; Международный центр логистики. – Москва : Эксмо, 2013. - 939 с.
3. Тюрин, А.Ю. Методика планирования маршрутов доставки грузов мелкими партиями на большой сети обслуживания / А.Ю. Тюрин. – Текст : непосредственный // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010/ - №3. – С.133-136.
4. Тюрин А.Ю. Скорость поставок и оборот капитала // Российское предпринимательство. – 2010. - № 1 (выпуск 2). – С. 69-75.
5. Тюрин А.Ю. Особенности решения задач многоуровневой системы доставки товаров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – №1. – С.130-135.
6. Li C-L, Hsu VN, Xiao W-Q. Dynamic lot sizing with batch ordering and truckload discounts // Oper Res. – 2004. – 52(4). – P. 639-654.
7. Rizk N, Martel A, Ramudhin A. A Lagrangean relaxation algorithm for multi-item lot-sizing problems with joint piecewise linear resource costs // Int J Prod Econ. – 2006. – 102(2). – P. 344-357.
8. Wagner H. M., Whitin, T. M. Dynamic version of the economic lot size model // Management Science. – 1958. – 5. – P. 89-96.
9. De Matteis J. J., Mendoza A. G. An economic lot sizing technique // IBM Systems Journal. – 1968. – 7. – P. 30-46.