

УДК 658.7

## **ВЫБОР СТРАТЕГИИ ОТГРУЗКИ ПРОДУКЦИИ ПОТРЕБИТЕЛЮ, УЧИТЫВАЮЩЕЙ СУММАРНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ И СКЛАДСКИЕ ЗАТРАТЫ НА ЗАПАСЫ**

А.Ю. Тюрин, д-р экон. наук, доцент, профессор  
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,  
г. Кемерово

Взаимодействие производителя с оптовым потребителем строится на основе прогноза спроса на соответствующие виды продукции, требуемой частоты поставок товаров и уровня логистического обслуживания. С целью оптимизации используемых ресурсов как у производителя, так и у потребителя требуется совместный учет транспортных и складских затрат на запасы при организации доставки товаров потребителю в разные периоды времени.

В общем виде задача совместного управления запасами и маршрутизацией [1-4] предполагает использование такой политики транспортировки и управления запасами, которые приводят к минимуму общие ожидаемые издержки на некотором горизонте планирования [5]. При этом совместные действия поставщика и потребителя осуществляются на оперативном и тактическом уровне принятия решений [6]. В связи с этим могут возникнуть различные стратегии поставок товаров, некоторые из которых рассмотрим на следующем примере.

Рассмотрим следующую ситуацию. Имеются три различных продукта: А, В и С, которые производятся в определенном месте S с известными темпами производства и требуются в другом месте T (для оптовой продажи) с нормой потребления, равной скорости производства для каждого из них. Необходимо решить, когда каждый продукт должен быть отправлен и в каких количествах.

Предположим, что отгрузка может производиться каждый день, если это уместно, и в любом желаемом количестве, но только в один данный момент дня: например, только ранним утром или только после рабочего дня. Какой момент разрешен для отправки, не имеет значения; критический факт заключается в том, что мы не можем изменить время от дня к дню. Причин такого ограничения может быть несколько – от технологических до эксплуатационных, коммерческих и т. д. Такие ситуации часто более реалистичны, чем тот случай, когда поставки могут иметь место в любое время, 24 часа в сутки.

Вся продукция укладывается на поддоны для отгрузки. Продукт А поставляется штуками по 4000 руб. каждая; один поддон может перевозить 80 штук; ежедневное производство составляет 1920 штук или, что эквивалентно, 24 полных поддона в день. Продукт В имеет удельную стоимость 160 руб. за

штуку, а один поддон перевозит 200 штук; его ежедневная производительность составляет 800 штук, то есть 4 полных поддона в день. Наконец, продукт С имеет удельную стоимость 320 руб. за штуку, а один поддон несет 50 штук; его ежедневная производительность составляет 150 штук, то есть 3 полных поддона в день.

Затраты на складские запасы начисляются по постоянной ставке стоимости каждого товара. Ставка отчислений на запасы берется из расчета, что каждый товар несет ежедневную стоимость запасов в размере  $1/1000$  его стоимости. Затраты на складские запасы учитываются как при S и T, так и во время поездок. Однако продолжительность доставки считается постоянной, поэтому этот фактор не влияет на выбор, и можно думать о перемещениях из S в T как о мгновенных, без потери общности. Если стоимость запасов должна быть измерена только в одном из двух узлов, это может быть достигнуто простым уменьшением вдвое показателей. В таблице 1 приведены соответствующие данные для трех продуктов, принимая один поддон в качестве единицы измерения количества.

Таблица 1 – Исходные данные

| Продукт | Стоимость продукта, руб. за поддон | Производство, поддонов в день | Стоимость запасов, руб. за поддон в день |
|---------|------------------------------------|-------------------------------|--|
| А       | 320000                             | 24                            | 320                                      |
| В       | 32000                              | 4                             | 32                                       |
| С       | 16000                              | 3                             | 16                                       |

В перевозках используются грузовики, которые могут перевозить до 48 полных поддонов. Одна поездка одного грузовика стоит 40000 руб. и не зависит от количества перевозимого груза: другими словами, отправка полного грузовика или почти пустого стоит одинаково.

Первая стратегия отгрузки, которая рассматривается, заключается в том, чтобы загружать товары на грузовик всякий раз, когда они производятся, и отправлять грузовик в конце дня, если он полон. Обратите внимание, что ежедневное общее производство может быть размещено в 31 поддоне. Поскольку полный грузовик перевозит 48 поддонов, не делается никакой отгрузки в первый день (начиная с нулевого запаса в S), отправляется полный грузовик и хранится 14 оставшихся поддонов на второй день, ничего не отправляется и хранится  $31 + 14 = 45$  поддонов на третий день и так далее. В таблице 2 показано, когда происходят отгрузки и как складские запасы изменяются у производителя S.

Обратите внимание, что шаблон 48 дней повторяется периодически как для отгрузок, так и для уровней запасов. В течение этого периода время отгрузки имеет нерегулярную структуру, состоящую из последовательностей двух отгрузок, за которыми следует простой день, за исключением дней 2, 16

и 33. Таким образом, имеется 31 отправка каждые 48 дней, со средней ежедневной стоимостью транспортировки  $40000 \times 31/48 = 25833,6$  руб.

Из-за нерегулярности поставок расчет стоимости запасов на ежедневной основе занимает много времени. Тем не менее, обратите внимание, что общее количество товаров в системе (в S и T) постоянно. Легко понять, что это количество составляет (по крайней мере) 78 поддонов: действительно, из таблицы 2 видно, что в конце 17-го дня есть ровно 47 полных поддонов, готовых в S, но они не отгружаются, потому что они не заполняют грузовик до следующего дня, когда будет доступен еще 31 поддон. Очевидно, что три продукта заполняют эти  $47 + 31 = 78$  поддонов в той же пропорции, что и их производственные нормы, то есть  $24/31$  для A,  $4/31$  для B и  $3/31$  для C. Таким образом, ежедневные складские затраты, понесенные этими количествами, составляют  $78 \times (320 \times 24/31 + 32 \times 4/31 + 16 \times 3/31) = 19766,4$  руб. Таким образом, политика отправки полностью загруженных автомобилей имеет среднюю общую дневную стоимость в размере  $25833,6 + 19766,4 = 45600$  руб.

Таблица 2 – Последовательность отгрузок и уровни запасов у производителя S для примера с политикой отправки полностью загруженных автомобилей

|                         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| День                    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
| Отгрузка                | нет | да  | нет | да  | да  | нет | да  | да  | нет | да  | да  | нет |
| Поддоны у производителя | 31  | 14  | 45  | 28  | 11  | 42  | 25  | 8   | 39  | 22  | 5   | 36  |
| День                    | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  |
| Отгрузка                | да  | да  | нет | да  | нет | да  | да  | нет | да  | да  | нет | да  |
| Поддоны у производителя | 19  | 2   | 33  | 16  | 47  | 30  | 13  | 44  | 27  | 10  | 41  | 24  |
| День                    | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  | 31  | 32  | 33  | 34  | 35  | 36  |
| Отгрузка                | да  | нет | да  | да  | нет | да  | да  | нет | да  | нет | да  | да  |
| Поддоны у производителя | 7   | 38  | 21  | 4   | 35  | 18  | 1   | 32  | 15  | 46  | 29  | 12  |
| День                    | 37  | 38  | 39  | 40  | 41  | 42  | 43  | 44  | 45  | 46  | 47  | 48  |
| Отгрузка                | нет | да  | да  | нет | да  | да  | нет | да  | да  | нет | да  | да  |
| Поддоны у производителя | 43  | 26  | 9   | 40  | 23  | 6   | 37  | 20  | 3   | 34  | 17  | 0   |

Другая стратегия предполагает отправку автомобилей каждый день. В этом случае отправка грузовика каждый день с 31 поддоном повышает ежедневные транспортные расходы до 40000 руб. в день. Даже если стоимость запасов резко снижается, общая стоимость при ежедневных поставках почти на 5% выше, чем при стратегии полной загрузки автомобилей.

Тем не менее, обратите внимание, что для продукта A достаточно одного грузовика каждые два дня, для продукта B – одного грузовика каждые 12

дней, а для продукта С – одного грузовика каждые 16 дней. Результирующая стоимость транспортировки такая же, как и для стратегии полной загрузки автомобилей, потому что грузовики всегда путешествуют полными. Стоимость запасов легко получить, заметив, что система (из S в T) всегда содержит ровно 48 поддонов каждого продукта, поэтому ежедневная стоимость запасов составляет  $48 \times (320 + 32 + 16) = 17664$  руб. Таким образом, сокращаются затраты на складские запасы более чем на 17% и экономится более 2100 руб. каждый день. Итак, хотя в системе всегда присутствует 144 поддона, то есть почти вдвое больше, чем при стратегии полной загрузки автомобилей, общая стоимость их содержимого глобально снижается.

Стоит отметить некоторые особенности последнего плана доставки. Теперь разные продукты управляются независимо: они отправляются на разных грузовиках, путешествуя с разной частотой. Оказывается, может быть выгодно отправлять грузовики на разных частотах. Эта концепция заслуживает дальнейшего изучения. Регулярный план отгрузки – это когда отгрузки производятся в моменты времени, которые могут быть получены как суперпозиция конечного набора различных последовательностей, каждая из которых имеет постоянный ход.

Теперь можно задаться вопросом, существуют ли другие регулярные планы доставки, возможно, более дешевые, чем только что найденный. Рассмотрим, например, комбинацию отправок с интервалом в 2, 8 и 48 дней: они обеспечивают точно среднюю суточную производительность 31 поддон. Регулярная политика доставки с этими направлениями могла бы предусматривать загрузку продуктом А всех грузовиков, отправляющихся через день, и продуктом С всех грузовиков, отправляющихся каждые 48 дней. Остальное (то есть весь продукт В и оставшаяся часть С) отправляется каждые 8 дней. Стоимость транспортировки не меняется. Что касается запасов, то все еще есть 144 поддона в системе, и 48 из них несут продукт А, как и раньше. Однако теперь у нас есть 32 поддона с продуктом В и 64 с продуктом С. Это дает ежедневную стоимость запасов  $48 \times 320 + 32 \times 32 + 64 \times 16 = 17408$  руб., что на 256 руб. меньше, чем раньше. Это показывает, что, возможно, имеет смысл рассматривать регулярные поставки с одним и тем же продуктом, разделенным между различными частотами, и с одной и той же частотой можно разделить части различных продуктов (см. таблицу 3).

До сих пор рассматривалась в основном политика отгрузки, которая насыщает все грузовики, которые используются, и единственный случай, когда грузовики не были заполнены (с ежедневными поставками), был признан слишком дорогим. Тем не менее, рассмотрим, например, возможность отправки продукта А каждые два дня и продуктов В и С каждые шесть дней. Таким образом, в нашей системе имеется 48 поддонов А, 24 – В и 18 – С, и это дает ежедневную стоимость запасов  $48 \times 320 + 24 \times 32 + 18 \times 16 = 16416$  руб., что на 992 руб. меньше, чем раньше. Однако теперь используются четыре грузовика каждые шесть дней, что дает среднюю ежедневную стоимость транспортировки  $40000 \times 4/6 = 26666,4$  руб. Полученный баланс показывает,

что эта политика доставки на 159,2 руб. дешевле предыдущей на ежедневной основе. Это означает, что, возможно, стоит рассмотреть политику доставки, которая не насыщает все грузовики, открывая тем самым большое количество потенциальных альтернатив.

Таблица 3 – Особенности стратегий отгрузки

| Стратегия отгрузки           | Стоимость, руб в день |         |         | Количество поддонов из S в T | Все автомобили заполнены? |
|------------------------------|-----------------------|---------|---------|------------------------------|---------------------------|
|                              | Транспортировка       | Запасы  | Общие   |                              |                           |
| Отгрузка полными грузови-    | 25833,6               | 19766,4 | 45600   | 78                           | да                        |
| Отгрузка каждый день         | 40000                 | 7856    | 47856   | 31                           | нет                       |
| Отгрузка каждые 2-12-16 дней | 25833,6               | 17664   | 43497,6 | 144                          | да                        |
| Отгрузка каждые 2-8-48 дней  | 25833,6               | 17408   | 43241,6 | 144                          | да                        |
| Отгрузка каждые 2-6 дней     | 26666,4               | 16416   | 43082,4 | 66                           | нет                       |

В заключение необходимо отметить, что на практике необходимо учитывать альтернативные частоты отправки автомобилей потребителю с целью сокращения общих расходов на транспортировку и запасы с учетом интересов как поставщика, так и потребителя.

#### Список литературы:

1. Federgruen A., Zipkin P. A combined vehicle routing and inventory allocation problem // *Oper. Res.* – 1984. – 32. – P. 1019-1037.
2. Dror M., Levy L. A vehicle routing improvement algorithm comparison of a “greedy” and a matching implementation for inventory routing // *Comput. Oper. Res.* – 1986. – 13. – P. 33-45.
3. Chan L.M.A., Federgruen A., Simchi-Levi D. Probabilistic Analysis and Practical Algorithms for Inventory-Routing Models // *Oper. Res.* – 1998. – 46 (1). – P. 96-106.
4. Bertazzi L., Paletta G., Speranza M.G. Deterministic Order-Up-To Level Policies in an Inventory Routing Problem // *Transp. Science.* – 2002. – 36 (1). – P. 119-132.
5. Тюрин А.Ю., Зырянов В.В. Совмещенные модели транспортировки и управления запасами в цепях поставок пищевой промышленности // *Вестник Кузбасского государственного технического университета.* – 2012. – №2. – С.127-130.
6. Тюрин А.Ю. Тактико-оперативное планирование работы автотранспорта в логистических системах // *Вестник Кузбасского государственного технического университета.* – 2015. – №3. – С.156-162.