

## Расчёт размера партии производства в один передел

На больших производствах с несколькими *переделами* – циклами переработки, в результате которых мы получаем новый продукт – размер производственной партии нередко формирует специальная программа. Но в небольших производственных компаниях с одним переделом использование таких дорогостоящих решений обычно не практикуется, в связи с чем, там могут, вообще, отказываться от такого расчёта. Не редка ситуация, когда размер производственной партии определяется случайным образом, в связи с какими-то совершенно не экономическими факторами удобства отдельных сотрудников, например, грузчика, который загружает линию сырьём, или привязки к совершенно не связанным с этим процессам, например, к рабочим сменам: первая делает одну продукцию, вторая – другую, третья – третью, и так далее... И это при том, что очень часто постоянный дефицит мощностей на таких производственных предприятиях можно решить, просто, увеличением производственной партии, а, наоборот, слишком большие запасы готовой продукции – просто, её снижением. Причём для решения этой задачи на небольшом производстве вовсе не понадобится дорогостоящее программное решение, будет достаточно всем знакомого «Экселя».

### Постановка задачи.

Компания занимается производством труб различных диаметров, при нём есть небольшой склад и отдел продаж. В связи с появлением нескольких крупных клиентов, и, следовательно, ростом продаж, производственный отдел перестал справляться со спросом. Участились ситуации, когда клиент хотел бы купить большой объём труб некоторого диаметра, но этого диаметра нет в данный момент на складе, так как весь остаток по этой трубе был выбран другим клиентом, и не было времени восполнить запас. По результатам нескольких таких случаев руководителя производственного отдела обязали выполнять необходимые заказы в полном объёме, на это он ответил, что станок, на котором делается труба, и так постоянно работает, и предложил поставить второй такой же, чтобы можно было одновременно обслуживать сразу несколько заказов клиентов. В связи с дороговизной установки второго станка начали искать альтернативные решения.

Анализ существующих производственных возможностей показал, что их достаточно для удовлетворения текущих потребностей: то есть, если взять весь спрос за месяц, включая неудовлетворённый, и перевести его в дни, которые потребуются на их производство с помощью существующего оборудования, то получается 15 рабочих дней. А так как в месяце в среднем 21 рабочий день, то все моменты, связанные с нехваткой готовой продукции, возникают только из-за того, что нужного объёма труб определённого диаметра нет на складе готовой продукции на момент запроса клиентом, производственных же мощностей оказалось – даже с избытком!.. После проверки выяснилось, что текущий станок, действительно работал постоянно. Правда большая часть его рабочего времени тратилась на переналадку, так как заказ спускался ежедневно на несколько диаметров трубы, которые уже закончились, и осуществлялось срочное производство «каждого диаметра хотя бы по чуть-чуть». А между производством трубы разных диаметров происходила вынужденная переналадка оборудования, которая занимала каждый раз 45 минут рабочего времени...

### Формула «Уилсона».

При попытке решить эту задачу первой на память многим приходит знаменитая формула «Уилсона», которая обычно используется для расчёта оптимального размера поставки от поставщика. Логика простейшая: будем считать наше производство поставщиком; соответственно, у нас есть затраты на заказ и на хранение, исходя из которых можно найти точку минимума их совокупности, – ей-то и будет соответствовать оптимальная партия производства. Однако в случае с собственным производством эта формула не даёт оптимальное решение, так как если время переналадки станков для производства очередного вида продукции можно учесть в затратах на заказ, то вот мощность станка учесть в ней невозможно, и в результате, её может: как не хватать, так и оставаться в избытке. Следствием нехватки мощностей является дефицит, от которого мы и хотим уйти; а избыточные мощности означают по концепции *ТУЗ* – Тотального Управления Запасами – лишние затраты на хранение и обслуживание запасов готовой продукции, то есть тоже явно не оптимальную ситуацию.

Однако применение формулы «Уилсона» для данной задачи – не такое уж и бессмысленное. С её помощью можно рассчитать оптимальное количество станков, в таком случае к затратам на заказ в ней надо прибавить ещё стоимость вложенных, в дополнительные станки деньги. Но даже если покупка дополнительного оборудования не возможна по финансовым или технологическим причинам, по формуле «Уилсона» можно рассчитать оптимальное количество смен в неделю: возможно, что их надо сократить, переведя производство на четырёхдневную рабочую неделю, или, наоборот, увеличить за счёт ввода вечерней смены каждый день. Однако в любом случае после этого расчёта и закупки необходимого количества станков или вывода необходимого количества смен всё равно нужно будет рассчитывать оптимальный объём заказа уже на получившуюся мощность производства.

### Теория ограничений систем.

Переформулируем задачу в рамках теории ограничений систем: найти размер производственной партии – это значит найти максимальный запас, который может храниться на складе. А в свете концепции тотального управления запасов – не просто может, а должен там храниться. То есть мы будем искать минимальное достаточное количество запаса для поддержания продаж без дефицита до следующего размещения позиции в производство. Именно на такой объём мы будем давать задание производству каждый раз, когда будем принимать решение, что пора делать очередную партию по позиции. Для этого сначала находим время, остающееся для осуществления переналадок. Измеряться все величины у нас будут через погонные метры – основную количественную меру, используемую при производстве труб, однако для других производств это могут быть килограммы, кубические и квадратные метры, штуки или другие физические количественные единицы измерения:

$$E = R - T - \sum S_i / M, \text{ где:}$$

$E$  – время в течение месяца, которое можно отвести на переналадку оборудования между производством труб разного диаметра [часов / месяц];

$R$  – станок работает в месяце [часов / месяц];

$T$  – время в течение месяца, необходимое на плановые технические обслуживания оборудования [часов / месяц];

$S_i$  – спрос на  $i$ -тую позицию готовой продукции [погонных метров / месяц];

$M$  – мощность производства [погонных метров / час].

Затем мы делим получившееся количество часов в месяц, доступное для переналадки оборудования, на время одной такой переналадки, чтобы получить максимальное количество возможных переналадок:

$$K = E / P, \text{ где:}$$

$K$  – максимальное допустимое количество переналадок, чтобы оставшегося времени хватило на производство всего нужного объёма [переналадок / месяц];

$E$  – время в течение месяца, которое можно отвести на переналадку оборудования между производством труб разного диаметра [часов / месяц];

$P$  – время выполнения одной переналадки [часов / переналадку].

Теперь осталось только разделить получившееся количество переналадок между производимыми позициями. В теории ограничений систем деление, просто, происходит на количество позиций, производимых на этом оборудовании, чтобы понять, сколько раз в месяц мы сможем производить каждую из них:

$$L = K / N, \text{ где:}$$

$L$  – количество раз выпуска одной и той же позиции в течение месяца [переналадок / месяц];

$K$  – максимальное допустимое количество переналадок, чтобы оставшегося времени хватило на производство всего нужного объёма [переналадок / месяц];

$N$  – количество позиций, производимых на этом оборудовании.

Исходя из этого значения оптимальный размер производственной партии по каждой позиции элементарным образом вычисляется исходя из спроса на продукцию и количества раз, которое мы сможем её производить в течение месяца:

$$X_i = S_i / L, \text{ где:}$$

$X_i$  – размер производственной партии  $i$ -той позиции [погонных метров по позиции / переналадку];

$S_i$  – спрос на  $i$ -тую позицию готовой продукции [погонных метров / месяц];  
 $L$  – количество раз выпуска одной и той же позиции в течение месяца [переналадок / месяц].

### Решение в стиле ТУЗ.

Однако, как только мы встречаемся на практике с серьёзной диспропорцией в потреблении разных позиций, мы сразу чувствуем, что получившаяся формула не верна. На это же нам указывает концепция ТУЗ: мы видим постоянно рядом огромные запасы по позициям, которые потребляют много, и при этом вынуждены тратить «дефицитные переналадки» на позиции, которых лежит на складе на порядок меньше! И это вместо того, чтобы один раз их произвести сразу на месяц, потратив на это по одной переналадке, а высвободившиеся переналадки использовать для снижения запасов по самым потребляемым позициям, то есть тем, где это будет наиболее существенно для компании. Поэтому в концепции ТУЗ последние две формулы преобразуются. Количество раз выпуска каждой  $i$ -той позиции в течение месяца  $L_i$  – находится по не тривиальному алгоритму. Мы создаём файл «Эксель», в котором заполняем  $N$  строчек следующими данными по трём столбцам:

1. Себестоимость спроса по каждой позиции  $S_i \cdot C_i$ , где:  
 $S_i$  – спрос на  $i$ -тую позицию готовой продукции [погонных метров / месяц];  
 $C_i$  – себестоимость  $i$ -той позиции готовой продукции [рублей / погонный метр].
2. Количество переналадок по каждой позиции  $L_i$  – количество раз выпуска одной и той же  $i$ -той позиции в течение месяца [переналадок / месяц].
3. Получаемая оптимизация среднего запаса при добавлении ещё одной переналадки к каждой позиции  $R_i = S_i \cdot C_i \cdot (1/L_i - 1/L_{i+1})$  [рублей].
4. В каждую строчку мы добавляем по единице во второй столбец, так как нам надо будет произвести каждую хотя бы один раз. Если для каких-то позиций это оказывается слишком часто, то надо перейти от месяцев к кварталам, или даже годам.
5. Далее мы добавляем ещё одну переналадку в ту строчку, которая имеет максимальное значение  $R_i$  до тех пор, пока  $\sum L_i < K$ . Как только суммарное количество переналадок по всем позициям достигнет максимально возможного за месяц, алгоритм останавливается, а значения  $L_i$  – фиксируются для дальнейшего расчёта.

А оптимальный размер производственной партии по каждой позиции вычисляется по такой формуле:

$$X_i = S_i / L_i, \text{ где:}$$

$X_i$  – размер производственной партии  $i$ -той позиции [погонных метров по позиции / переналадку];

$S_i$  – спрос на  $i$ -тую позицию готовой продукции [погонных метров / месяц];

$L_i$  – количество раз выпуска одной и той же  $i$ -той позиции в течение месяца [переналадок / месяц].

Продвинутые пользователи «Экселя» могут воспользоваться встроенной в него функцией «Поиск решения».

### Пример.

Рассмотрим пример использования этих формул для решения нашей задачи, на конкретных входных данных, описанных выше. Непосредственно на переналадки после вычитания времени, необходимого на производство и плановое техническое обслуживание оборудования, которое осуществляется 1 день в месяц, остаётся:

$$E = R - T - \sum S_i / M = 21 \text{ день в месяц} - 1 \text{ день в месяц} - 15 \text{ дней в месяц} = 4 \text{ дня в месяц,}$$

$$E = 4 \text{ дня в месяц} \cdot 8 \text{ рабочих часов за день} \cdot 60 \text{ минут в часу} = 1920 \text{ минут в месяц.}$$

Переналадка оборудования для станка с одного диаметра трубы на другой занимает 45 минут. Делим получившиеся ранее 1920 минут в месяц, которые мы можем истратить на переналадку станков, на эти 45 минут и получаем, что за месяц мы можем переналаживать станок:

$$K = E / P = 1920 \text{ минут в месяц} / 45 \text{ минут на переналадку} = 42 \text{ переналадок в месяц.}$$

Или 2 раза в день, которые получаются делением  $K$ , равного 42 переналадкам в месяц, на 21 рабочий день в месяце. Вот, собственно, и причина дефицита в прошлом – из-за более частых переналадок времени непосредственно на производство оставалось меньше необходимого для обеспечения спроса и это приводило к ситуации аврального производства всех обнулившихся

позиций хотя бы по чуть-чуть, что требовало ещё большего количества переналадок. Но теперь мы знаем, что в среднем каждый день мы можем выпускать по два диаметра труб.

Теперь надо понять, какой остаток трубы каждого диаметра мы должны держать на складе, чтобы полностью удовлетворить возникающий в них спрос. Всего производится 14 диаметров труб. Например, по нашему алгоритму для трубы 160-го диаметра количество переналадок получилось равным  $L_{160} = 3$  переналадки в месяц.

Поэтому мы принимаем решение производить данного диаметра в свою очередь на 7 дней продаж за одну переналадку = 21 рабочий день в месяце / 3 переналадки в месяц. Если воспользоваться формулой, выведенной выше, то, например, при спросе на трубу 160-го диаметра в количестве 147 000 погонных метров в месяц мы получим нужный размер производственной партии по ней:

$$X_{160} = S_{160} / L_{160} = 147\,000 \text{ погонных метров в месяц} / 3 \text{ переналадки в месяц} = \\ = 49\,000 \text{ погонных метров за одну переналадку.}$$

Точно также нужно рассчитать значения производственной партии по другим диаметрам. А выбирать очередной диаметр для производства мы будем тот, которого в запасах осталось на наименьшее число дней продаж. Причём желательно это делать каждый раз по окончании производства очередного диаметра трубы, а не сразу давать производственное задание на несколько дней вперёд, так как даже в течение дня ситуация с остатками может поменяться, и нам потребуются в первую очередь другой диаметр трубы. Данный алгоритм опять же можно усложнить за счёт учёта вероятности возникновения большого спроса на трубу каждого размера, исходя из исторической статистики данного спроса.

### **Специфические случаи.**

Нередко обстоятельства работы или характеристики выпускаемого продукта накладывают дополнительные условия на оптимальный размер выпускаемой партии. Например, я работаю в компании, которая торгует натуральными продуктами для здорового питания. Их короткий срок годности, в принципе, не позволяет создавать значительные запасы готовой продукции! Кроме этого бизнес-процессы построены таким образом, чтобы удавалось продавать основной объём произведённой продукции в первый же день. Это связано с психологическим моментом, который возникает у наших клиентов в связи с непривычно коротким сроком годности продукции: они стараются взять, например, именно сегодняшний натуральный йогурт. Чтобы избежать снижения спроса, мы даже списываем продукцию, значительно раньше окончания её срока годности, уже на третий день, если у нас что-то остаётся к этому моменту. Разумеется, в такой ситуации размер оптимальной производственной партии диктуется уже исходя из нашего позиционирования на рынке, а не минимизации затрат на производство и хранение продукции.

Бывает и обратная ситуация, когда минимальная производственная партия связана, например, с подаваемым на вход используемым сырьём, которое нельзя использовать на половину; в таком случае, несмотря на меньший размер оптимальной партии производства, завод вынужден выработать партию сырья полностью, чтобы не терять расходные материалы понапрасну.

*Разгуляев Валерий,  
управляющий информацией  
«ВкусВилл - Избёнка»*