

ИТЕРАЦИОННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ С УЧЕТОМ ВРЕМЕННОЙ ЦЕННОСТИ ДЕНЕГ (ЧАСТЬ II)



**ГЕННАДИЙ
БРОДЕЦКИЙ**
ГУ-ВШЭ,
профессор, д.т.н.

ВВЕДЕНИЕ. Разработанные методы оптимизации для классических моделей управления запасами ориентированы на ситуации, когда в бизнесе используются собственные средства. В [1] показано, что привлечение заемных средств и учет временной ценности денег меняет оптимальную стратегию. Каждое лицо, принимающее решение, при анализе таких ситуаций уже может рассматривать и аспект рентабельности собственных средств. Как эта особенность отражается на оптимальной стратегии?

В этой части статьи представлен анализ модификации модели, описанной в [2], причем модификация относится к возможности использования эффекта финансового рычага, когда для работы цепи поставок привлекаются заемные средства. Иллюстрируются итеративные процедуры оптимизации стратегии управления запасами с учетом указанных особенностей на примере реальных данных «условной» буровой компании, осуществляющей деятельность на территории Уральского федерального округа Российской Федерации.

АТРИБУТЫ АНАЛИЗИРУЕМОЙ МОДЕЛИ

В этой части статьи рассматриваем итеративные процедуры оптимизации модифицированной классической однопродуктовой модели управления запасами с постоянным спросом, которые позволяют учитывать как временную ценность денег, так и эффект финансового рычага при использовании заемных средств. Отметим соответствующие особенности модели и принимаемые далее обозначения в рамках интересующего нас анализа эффективности использования заемных средств:

D — объем годового потребления соответствующего товара;

C_0 — накладные расходы на поставку одной партии товара, не зависящие от объема партии товара;

C_1 — стоимость единицы товара;



**РОМАН
МУРАВЬЕВ,**
ЗАО «Сервисный Центр —
Буровые Технологии»,
экономист

$C_{пр}$ — цена реализации единицы продукции;

C_h — издержки хранения единицы продукции за год;

r — годовая ставка наращения;

q — объем партии заказа — параметр, который требуется оптимизировать;

T — интервал повторного заказа (в годах) — параметр, который требуется определить.

Введем необходимые дополнительные обозначения:

L — общие годовые затраты, связанные с работой анализируемой системы управления запасами;

S_{CC} — сумма собственных средств в соответствующих затратах бизнеса для анализируемых логистических процессов;

S_{3C} — сумма заемных средств (причем $S_{CC} + S_{3C} = L$) в соответствующих затратах бизнеса для анализируемых логистических процессов;

α — отношение заемных средств к собственным ($\alpha = S_{3C} / S_{CC}$), т.е. соответствующее плечо финансового рычага (в терминологии финансового менеджмента);

r_k — годовая кредитная ставка (так называемая средняя заемная ставка процента для используемых заемных средств).

Числовые параметры модели представлены ниже:

| D, шт. | $C_{пр}$, руб. | C_h , руб. | C_0 , руб. | $C_{пр}$, руб. | r | α | r_k |
|---------|-----------------|--------------|--------------|-----------------|-----|----------|-------|
| 100 000 | 15 636 | 644 | 700 000 | 16 100 | 0,2 | 0,25 | 0,5 |

Уточним, что формат модели предполагает следующее. Кредит для работы цепи поставок на одном периоде повторного заказа берется в момент $T = 0$, а погашается в момент $T/2$. Выбранное плечо финансового рычага позволяет собрать требуемую сумму к этому моменту ($\alpha = 1$ соответствует половине расходов). Так же стоит

АННОТАЦИЯ.

Следует ли учитывать временную ценность денег в современных моделях управления запасами? В работе показано, что аспекты и атрибуты такого выбора соотносятся с показателями эффективности указанных систем и зависят от целей оптимизации. Впервые представлены итеративные процедуры оптимизации рентабельности оборотного капитала в цепях поставок при управлении запасами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.

Управление запасами, временная ценность денег, рентабельность оборотного капитала, итерации процедур оптимизации.

ANNOTATION.

Whether it is necessary to consider temporary value of money in modern inventory models? The article shows that the aspects and attributes of this choice are related to performance indicators of the specified systems and depend on the optimization purposes. For the first time iterative optimization procedures of working capital profitability in supply chains are presented at inventory management.

KEYWORDS.

Inventory management, temporary value of money, profitability of a working capital, iteration of procedures of optimization.

отметить, что в указанной пропорции делятся только расходы начального момента времени — стоимость товара и доставки, все остальные расходы осуществляются из собственных средств.

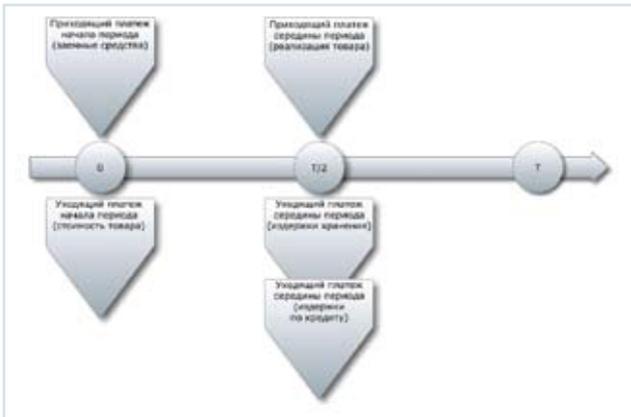


Рис. 1.

Схематическое условное представление денежных потоков на периоде $[0; T]$

В соответствии с указанными атрибутами рассматриваемой модификации модели управления запасами для указанных на рис. 1 денежных потоков запишем требуемые выражения.

Уходящий платеж, соотносимый с началом каждого периода и обозначаемый через $УП_H$, определяем равенством $УП_H = C_0 + C_H \cdot q$.

При этом составляющая такого денежного потока, характеризующая затраты именно заемных средств (обозначаем ее $УП_{H3}$), для которой требуется учесть заданную кредитную ставку на момент $T/2$ погашения заемных обязательств по схеме простых процентов, принимается равной $УП_{H3} = УП_H \cdot \alpha / (1 + \alpha)$

Приходящий денежный поток ($ПП_H$) заемных средств, соотносимый с началом каждого периода времени между поставками, определяется равенствами $ПП_H = УП_{H3} = УП_H \cdot \alpha / (1 + \alpha)$.

Уходящие платежи, соотносимые, в среднем, с серединой периода повторного заказа, включают:

— погашение заемных обязательств $УП_{C3} = (1 + r_k \cdot T/2) \cdot ПП_H = (1 + r_k \cdot T/2) \cdot УП_H \cdot \alpha / (1 + \alpha)$;

— оплату издержек хранения, реализуемую, из собственных средств $УП_{CХ} = C_H \cdot q \cdot T$.

Приходящие платежи, соотносимые, в среднем, с серединой каждого периода времени между поставками ($ПП_C$), обуславливаемые денежными поступлениями от реализации товара, $ПП_C = C_P \cdot q$.

Для модели, с учетом временной стоимости денег при использовании заемных средств для требуемых выплат, в начале каждого периода поставки (с плечом финансового рычага α) размер партии заказа надо определять по формулам, приведенным в [1] с учетом особенностей оплаты арендованных мест на складе для хранения товара (опускается цифра «2» в числителе):

$$q^* = \sqrt{\frac{C_0 D}{C_h + C_H \cdot \frac{(r + \alpha \cdot r_k)}{(1 + \alpha)}}}$$

Итак, на параметры оптимальной стратегии управления запасами уже влияют: величина плеча финансового рычага r_k для соответствующих выплат в начале периода поставки; величина кредитной ставки r_k для используемых заемных средств в указанных выплатах; величина ставки r , которая характеризует преобразование денежных потоков для цепи поставок. Чтобы не усложнять расчеты, используем простой переход к оптимальному интервалу повторного заказа:

$$T^* = \frac{q}{D} = \sqrt{\frac{C_0}{D \left(C_h + C_H \cdot \frac{(r + \alpha \cdot r_k)}{(1 + \alpha)} \right)}}$$

Итеративные процедуры оптимизации. Для модели с учетом временной ценности денег проведем анализ четырех альтернативных вариантов использования заемных средств: при $\alpha = 0$, при $\alpha = 0,25$, при $\alpha = 0,5$, при $\alpha = 1$. Результаты расчетов для параметров оптимальной стратегии и составляющих денежных потоков на первой итерации процедур оптимизации представлены в табл. 1. При учете временной ценности денег, как и в первой части статьи [2], итеративный процесс начинается с использования процентной ставки $r = 0,2$.

Для иллюстрации процедур первого шага итерации представим расчеты этого шага для ситуации, когда $\alpha = 0,25$. Для параметров стратегии управления запасами получаем:

$$q^* = \sqrt{\frac{700000 \cdot 100000}{644 + 15636 \cdot \frac{(0,2 + 0,25 \cdot 0,25)}{(1 + 0,25)}}} \approx 4384 \text{ (шт.)}$$

$$T^* = \frac{4384}{100000} \approx 0,0438 \text{ (года) или 16 (дней)}$$

Результаты даны в округлении до целого (в днях) интервала повторного заказа и целого размера партии заказа. Таких поставок за год будет, в среднем, 22,8.

Отметим основные денежные потоки на интервале повторного заказа при указанной стратегии:

Уходящий платеж начала периода, $УП_H = 69\,248\,224,00$ руб. ($= C_0 + q \cdot C_{HP}$).

Приходящий платеж/кредит начала периода, $ПП_H = 13\,849\,644,80$ руб. ($= УП_H \cdot \alpha / (1 + \alpha)$).

Уходящие платежи середины периода:

уходящие платежи погашения заемных обязательств, $УП_{C3} = 13\,925\,533,26$ руб. ($= ПП_H \cdot (1 + r_k \cdot T/2)$)

уходящие платежи оплаты издержек хранения, $УП_{CХ} = 123\,760,92$ руб. ($= C_H \cdot q \cdot T$)

Приходящие платежи/выручка середины периода, $ПП_C = 70\,582\,400,00$ руб. ($= C_{HP} \cdot q$).

Представленные атрибуты денежных потоков позволяют обратить внимание на следующее.

Оборотный капитал на одном периоде / интервале повторного заказа составляет $69\,447\,873,39$ руб. ($= УП_H + ПП_H \cdot r_k \cdot T/2 + УП_{CХ}$)

Заемный капитал равен приходящему платежу начала периода и составит $13\,849\,644,80$ руб. ($= ПП_H$)

Собственный капитал помимо расходов на товары включает в себя проценты по кредиту и издержки хранения, и равен $55\,598\,228,59$ ($УП_H - ПП_H + ПП_H \cdot r_k \cdot T/2 + УП_{CХ}$)

Прибыль на одном периоде повторного заказа (налоги не учитываем) составляет $1\,134\,526,61$ руб. При этом рентабельность инвестиций в оборотный капитал на одном периоде повторного заказа длительностью 16 дней составляет $r_{OK}(16) = 0,0163$ ($= 1\,134\,526,61$ руб. / $69\,447\,873,39$ руб.), а рентабельность собственного капитала будет равна $r_{CK}(16) = 0,0204$ ($= 1\,134\,526,61$ руб. / $55\,598\,228,59$ руб.). Приведем указанные показатели к годовым:

— для рентабельности инвестиций в оборотный капитал получаем $r_{OK} = 0,372$ (или 37,2%);

— для рентабельности собственных средств получаем $r_{CK} = 0,465$ (или 46,5%).

Остальные ситуации анализируются аналогично. Результаты представлены в табл. 1.

Комментарии к результатам таблицы 1. Практикующий менеджер сразу обратит внимание на то, что оптимизация с учетом временной ценности денег предполагает, в целом, сокращение инвестируемого капитала в работу цепи поставок на каждом периоде повторного заказа. Это обусловлено сокращением размера заказа: знаменатель выражения под знаком квадратного корня для q^* при учете временной ценности денег становится большим за счет дополнительного слагаемого (относительно классического варианта модели). Более того, использование заемных средств приводит к еще большему увеличению указанного дополнитель-

Таблица 1

**Сравнение показателей денежных потоков
(после первой итерации при процентной ставке $r = 0,2$)**

| Показатель | Без учета ВЦД | При учете ВЦД, $\alpha = 0$ | При учете ВЦД, $\alpha = 0,25$ | При учете ВЦД, $\alpha = 0,5$ | При учете ВЦД, $\alpha = 1$ |
|------------------------------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Объем партии, шт. | 10685 | 4384 | 4384 | 4384 | 4110 |
| Интервал повторного заказа, дней | 39 | 16 | 16 | 16 | 15 |
| Оборотный капитал, руб. | 168 505 905,1 | 69 371 984,92 | 69 447 873,39 | 69 498 465,69 | 65 239 593,73 |
| Заемный капитал, руб. | — | — | 13 849 644,80 | 23 082 741,33 | 32 481 980,00 |
| Собственный капитал, руб. | 168 505 905,1 | 69 371 984,92 | 55 598 228,59 | 46 415 724,36 | 32 757 613,73 |
| Годовая прибыль, руб. | 32 967 875,38 | 27 612 594,00 | 25 881 388,40 | 24 727 251,33 | 22 664 219,17 |
| Рентабельность оборотного капитала | 0,1956 | 0,398 | 0,372 | 0,355 | 0,347 |
| Рентабельность собственных средств | 0,1956 | 0,398 | 0,465 | 0,532 | 0,691 |

ного слагаемого. Действительно, легко проверить, что в случае $r > r_k$ (реальное для практики условие привлечения заемного капитала, чтобы получить эффект финансового рычага) имеет место также неравенство

$$r > \frac{r + \alpha \cdot r_k}{1 + \alpha}$$

Процедуры итерации на последующих шагах. Как уже было замечено в первой части статьи (см. [2]), полученные новые оценки для рентабельности денежных потоков цепи поставок дают возможность дальнейшей оптимизации. В качестве числового значения для процентной ставки был использован ее показатель для бизнес-процесса в цепи поставок без учета временной ценности денег. Процедуры первого шага итераций приводят к новому показателю процентной ставки гнов. Ее значение больше, чем исходно принятая оценка (см. табл. 1). На второй итерации можно повторить все вычисления при гнов. Таким образом, получается итеративный процесс, в котором полученная рентабельность становится ставкой наращивания для следующего шага. Сходимость этого процесса была отмечена в первой части статьи.

Иллюстрацию процедур последующих шагов итерации (второго и третьего) представим снова для ситуации, когда $\alpha = 0,25$. На второй итерации процентная ставка $r_{\text{нов}}$ для денежных потоков цепи поставок принимается равной $r_{\text{нов}} = r_{\text{СК}} = 0,465$ (т.к. цепочка поставок обеспечивает такую ценность денег во времени — см. табл. 1). Для параметров стратегии управления запасами получаем:

$$q^* = \sqrt{\frac{70000 \cdot 100000}{644 + 15636 \cdot \frac{(0,465 + 0,25 \cdot 0,25)}{(1 + 0,25)}}} \approx 3\,288 \text{ шт.},$$

$$T^* = \frac{3288}{100000} \approx 0,03287 \text{ (лет) или 12 дней.}$$

Для такой стратегии управления запасами, показатели рентабельности инвестиций в оборотный и собственный капитал, приве-

$$q^* = \sqrt{\frac{70000 \cdot 100000}{644 + 15636 \cdot \frac{(0,5189 + 0,25 \cdot 0,25)}{(1 + 0,25)}}} \approx 3014 \text{ шт.},$$

$$T^* = \frac{2966}{100000} \approx 0,03013 \text{ (лет) или 11 дней.}$$

денные к годовым, окажутся следующими: $r_{\text{СК}} = 0,4153$, $r_{\text{СК}} = 0,5189$.

На третьем шаге итерации повторим процедуру оптимизации с найденной новой ставкой наращивания $r = r_{\text{нов}} = r_{\text{СК}} = 0,5189$:

Обеспечение таких атрибутов цепочки поставок приведет к следующим годовым показателям: $r_{\text{СК}} = 0,4182$ и $r_{\text{СК}} = 0,5224$.

Дальнейшие итерации не дают увеличения хотя бы на 0,001. Полученный результат принимаем за наилучший. В табл. 2 сведены окончательные результаты оптимизации.

В табл. 2 приведены ставки наращивания, использование которых при расчетах приводит к максимизации рентабельности собственного капитала. При учете временной ценности денег годовая прибыль падает (из-за увеличения затрат, причем это относится и к процентам по кредиту, и их оценке во времени). Рост рентабельности опережает темпы падения прибыли, причем на указанный рост влияет и эффект финансового рычага. Использование

Таблица 2

| Показатель | При учете ВЦД, $\alpha = 0$ | При учете ВЦД, $\alpha = 0,25$ | При учете ВЦД, $\alpha = 0,5$ | При учете ВЦД, $\alpha = 1$ |
|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Ставка наращивания, r | 0,443 | 0,522 | 0,543 | 0,642 |
| Собственный капитал, руб. | 52 180 783,52 | 38 356 053,54 | 32 003 155,65 | 24 062 033,29 |
| Рентабельность оборотного капитала | 0,443 | 0,418 | 0,401 | 0,380 |
| Рентабельность собственных средств | 0,443 | 0,522 | 0,601 | 0,758 |

заемных средств в цепях поставок не только уменьшает требуемый для работы цепи поставок собственный капитал, но и положительно отражается на рентабельности собственных средств. Использование подхода [1] для оптимизации, позволяет аналитически получать оптимальные, с точки зрения поставленных задач, результаты.

Не менее примечателен тот факт, что изначально, без учета временной ценности денег (см. первую часть статьи [2]), была получена рентабельность цепи поставок на уровне 0,2, а заемный капитал берется под 25 процентов годовых. Казалось бы, такие кредиты брать не выгодно, т.к. составляющая эффекта финансового рычага должна быть отрицательной. Однако, анализ денежных потоков, учет временной ценности денег и использование линии краткосрочных (на срок T/2) кредитов, позволяют достигать более высокие результаты в эффективности использования капитала (в том числе и заемного).

Заключение. Результаты представленного исследования позволяют сделать следующие выводы. Разработанные в классической теории модели оптимальных стратегий управления запасами могут быть улучшены, в смысле максимизации эффективности таких систем (например, максимизации рентабельности собственных средств), за счет учета действующих на рынке процентных ставок, т.е. учета временной стоимости денег при анализе денежных потоков цепи поставок, а также за счет учета специфики атрибутов использования заемных средств. Суммарный показатель возможного повышения эффективности системы за счет учета указанных особенностей по всей номенклатуре товаров может оказаться весьма значительным.

Библиографический список:

1. Бродецкий Г.Л. Управление запасами. — М.: Эксмо, 2008. — 352 с. — (Полный курс MBA).
2. Бродецкий Г.Л., Муравьев Р.И. Итерационная оптимизация эффективности управления запасами с учетом временной ценности денег // Журн. «Логистика». № 2, 2011.