

## **О превращении Санкт-Петербурга в «Триумфальную Логистическую Арку» России**

- Профессор, заведующий кафедрой Логистики и организации перевозок Санкт-Петербургского государственного инженерно-экономического университета
- Валерий Лукинский

## Количественная оценка ключевой логистической функции «управления запасами» в работах иностранных авторов

| Авторы   | Наименование  | Предыдущие издания  | Количество формул  |                                       |
|--|---|---|--|---------------------------------------|
|  |   |   | всего  | по запасам                            |
| Баурсокс Д. Дж.,<br>Клосс Д. Дж. [6]                             | Логистика. Интегрированная цепь поставок. 2-е изд. на русском языке, 2005. 640 с.           | 1978<br>1986<br>1996<br>(переиздается с переработкой с 1974 г.) | Около 26 формул и несколько решений                      | Около 12 формул и примеры             |
| Ballou Ronald H. [194]   | Business. Logistics. Management. 4-е, 1999. 682 с.  | 1992  | Больше 26 формул   | Больше 26 формул                      |
| Blanchard<br>Benjamin S.   | Logistics Engineering and Management, 5 edition, 1998. 526 с.                               | 1974<br>1981<br>1986<br>1992<br>1998                            | Больше 26 формул   | Несколько формул (~5)                 |
| Coyle John J.<br>Bardi Edward J.<br>Langley Jr.<br>C. John [200] | The Management of Business Logistics. A supply Chain Perspective. 7-е edition, 2003. 708 с. | 1976<br>1992<br>1996  | Около 15 формул и примеры решений.                       | Все формулы для расчета запасов       |
| Кристофер<br>Мартин<br>[68]                                      | Логистика и управление цепями поставок. 2-е изд., 2004. 316 с.                              | 1992  | 1 формула и несколько решений (~6) в литературной форме. | Одна (модель EOQ)                     |
| Лайонс К.,<br>Джиллингем М. [74]                                 | Управление закупочной деятельностью и цепью поставок (перевод с 6-го издания), 2005. 798 с. | Первое издание 1981 г.  | Около 10 формул и примеры в литературной форме.          | Почти все формулы для расчета запасов |

## Продолжение таблицы

| Авторы  | Наименование   | Предыдущие издания                         | Количество формул  |                        |
|---|--|--|--|------------------------|
|   |  |  | всего  | по запасам             |
| Линдерс Майкл Р.,<br>Фирон Харольд Е.<br>[76]                         | Управление снабжением и запасами,<br>2002. 768 с.                | Выдержали в США<br>более 10<br>переизданий | 5 формул   | 4 формулы              |
| Джонсон Джеймс С.<br>Вуд Дональд Ф.<br>Варлоу Дэниел Л. и др.<br>[32] | Современная логистика.<br>7-е издание, 2002. 624 с.              | 1996<br>1999                               | 1 формула  | Одна (модель<br>EOQ)   |
| Мате Э.,<br>Тиксье Д.<br>[114]  | Логистика. 5-е издание, 2003. 128 с.                             | Первое издание -<br>середина 80-х годов    | нет  | нет                    |
| Сковронек Ч.,<br>Сариуш-Вольский З.<br>[157]                          | Логистика на предприятии, 2004.<br>400 с.                        | -  | Более 26 формул  | Более 26 формул        |
| Сток Джеймс Р.,<br>Ламберт Дуглас М.<br>[165]                         | Стратегическое управление<br>запасами, 4-е издание, 2005. 797 с. | 1982<br>1987<br>1993<br>2001               | Около 11 формул  | Около 8 формул         |
| Уотерс Дональд<br>[173]   | Логистика. Управление цепью<br>поставок, 2003. 503 с.            | 2003                                       | 8 формул и<br>несколько решений<br>(в литературной<br>форме) | 4 формулы и<br>примеры |
| Шапиро Джереми Ф.   | Моделирование цепи поставок.<br>2006. 720 с.                     | 2001                                       | Больше 26 формул   | Около 5 формул         |
| Шрайбфедер Д.<br>[188]  | Эффективное управление запасами,<br>3-е издание, 2005. 304 с.    | 1999                                       | Около 15 в<br>литературной<br>форме.                         | Трудно выделить.       |

## Относительные оценки частоты описания (применения) различных моделей и методов управления запасами, %

| Наименование модели, метода                             | Иностранные источники<br>(см. табл. 1.17) | Российские источники           |                                      |
|---|---|--------------------------------|--------------------------------------|
|   |   | Работы по логистике<br>(общие) | Работы по логистике<br>(специальные) |
| Текущий запас, модель EOQ (формула Уилсона)             | 93  | 91                             | 100                                  |
| Страховой запас (формула Феттера)                       | 56  | 36                             | 40                                   |
| Корректированные варианты основной модели EOQ           | 28  | 36                             | 30                                   |
| Модификации EOQ (немгновенная разгрузка, учет дефицита) | 21  | 45                             | 70                                   |
| Учет ограничений и скидок                               | 21  | 18                             | 80                                   |
| Многономенклатурные задачи                              | 21  | 9                              | 30                                   |
| Многопродуктовые задачи                                 | 14  | -                              | 10                                   |
| Статическая задача (одноцикловая поставка)              | 21  | 9                              | 30                                   |
| Модели (стратегии) управления запасами                  | 49  | 81                             | 70                                   |
| - «точка заказа»  | 56  | 81                             | 70                                   |
| - с фиксированной периодичностью                        |   |                                |                                      |
| Многоуровневые (эшелонированные системы)                | 28  | 9                              | 20                                   |

Формулы для расчета оптимальной величины заказа

| Ситуация   | Формула  | Условные обозначения   |
|--|--|--|
| Расчет общих затрат на создание и поддержание запаса           | 1. $T = I \frac{Q}{2} + \frac{AS}{Q} + CS$   | $A$ – стоимость размещения одного заказа, денежные единицы;<br>$a$ – затраты на хранение единицы продукции с учетом занимаемой площади (объема) склада, руб/м <sup>2</sup> или руб/м <sup>3</sup> ;  |
| Формула Вильсона   | 2. $Q^* = \sqrt{\frac{2 \times A \times S}{I}}$  | $C$ – цена единицы запаса, денежные единицы;   |
| Формула Вильсона при учете цены в затратах на хранение запасов | 3. $Q^* = \sqrt{\frac{2 \times A \times S}{i \times C}}$   | $D$ – объем поступления ТМЦ на склад в течение планового периода, денежные или натуральные измерения;  |
| Расчет ОРЗ при учете полного объема затрат на хранение         | 4. $Q^* = \sqrt{\frac{2 \times A \times S}{I + iC}}$   | $d$ – среднесуточный объем поступления ТМЦ на склад, денежные или натуральные единицы измерения/день;  |
| Расчет ОРЗ с учетом постепенного пополнения                    | 5а. $Q^* = \sqrt{\frac{2AS}{I(1-\frac{s}{d})}}$<br>5б. $Q^* = \sqrt{\frac{2AS}{I(1-\frac{S}{D})}}$ | $H$ – издержки дефицита, денежные единицы измерения/единица запаса;<br>$I$ – затраты на хранение единицы запаса в плановом периоде времени, денежные единицы измерения/единица запаса;               |
| Расчет ОРЗ с учетом потерь от дефицита                         | 6. $Q^* = \sqrt{\frac{2 \times A \times S}{I}} \times \sqrt{\frac{H + I}{H}}$                      | $\bar{I}$ – вектор затрат на хранение единицы запаса различных наименований в плановом периоде времени, денежные единицы измерения/единица запаса;<br>$i$ – доля цены продукции, приходящейся на за- |

|  |   |  |
|--|---|--|
| Расчет ОРЗ с учетом потерь от дефицита при постепенном пополнении    | $7. Q^* = \sqrt{\frac{2AS}{I}} \times \sqrt{\frac{1 + \frac{I}{H}}{1 - \frac{s}{d}}}$ | <p>траты по хранению, денежные единицы измерения/единица запаса;<br/> <math>k</math> – коэффициент, учитывающий пространственные габариты единицы продукции, м<sup>2</sup>/шт. или м<sup>3</sup>/шт.;</p>  |
| Расчет оптимального многономенклатурного заказа                      | $8. Q^* = S_i \times \sqrt{\frac{2A}{\bar{S} \times I}}$                              | <p><math>Q</math> – размер заказа, восполняющего запас, денежные или натуральные единицы измерения;<br/> <math>Q^*</math> - ОРЗ, денежные или натуральные единицы измерения;</p>   |
| Расчет ОРЗ с учетом НДС  | $9. Q^* = \sqrt{\frac{2 \times A \times S}{I + i \times r \times C}}$                 | <p><math>r</math> – коэффициент ставки НДС;<br/> <math>S</math> – потребность в запасе в плановом периоде, денежные или натуральные единицы измерения;</p>   |
| Расчет ОРЗ с учетом затрат на хранение на единицу площади или объема | $10. Q^* = \sqrt{\frac{2AS}{I}} = \sqrt{\frac{2AS}{akS}} = \sqrt{\frac{2A}{ak}}$      | <p><math>\bar{S}</math> – вектор потребностей в запасе различных наименований в плановом периоде времени, денежные или натуральные единицы измерения;<br/> <math>S_i</math> – потребность в запасе <math>i</math>-го наименования в плановом периоде, денежные или натуральные единицы измерения;<br/> <math>s</math> – среднесуточная потребность в запасах, денежные или натуральные единицы измерения/день;<br/> <math>T</math> – общие затраты на создание и поддержание заказа, денежные единицы измерения.</p> |

## Stages of the development of the inventory management theory

| Этап                                   | Наименование и краткая характеристика этапа   | Ученые, внесшие наибольший вклад в развитие этапа   |
|--|---|---|
| XVIII-XIX в.в.                         | Ранний период развития в рамках общей экономической теории  | А. Смит, Д. Риккардо, К. Маркс и другие   |
| Первый<br>1910-1940 г.г.               | Фрагментарный - отдельные разработки, например, модель EОQ, «правило Парето», модель производственного заказа, простые модели управления запасами и др.   | В. Парето, Ф. Харрис, Р. Уилсон, Е. Тафт, К. Андлер, Ф. Раймонд и другие  |
| Второй<br>1940-1970 г.г.               | Основной - формирование теории управления запасами (методы расчета показателей различного вида запасов, модели (стратегии) управления запасами, регулирование и управление запасами в многоуровневых системах)  | Р. Браун, Дж. Букан, Г. Вагнер, Х. Дикей, Э. Кенингсберг, Т. Уайтин, Р. Феттер, Дж. Хедли, А. Гнеденко, О. Проценко, Ю. Рыжиков, В. Сакович, Е. Хруцкий и другие  |
| Третий<br>1970 г. – по настоящее время | Логистический - развитие аналитических моделей и активное использование информационных технологий при управлении запасами в цепях поставок (системы MRP, DRP, ERP планирования и распределения ресурсов, концепция JIT, QR, VMI и др.)                            | Р. Баллоу, Дж. Баурсокс, Р. Коул, Дж. Клосс, Дж. Сток, Д. Ламберт, М. Кристофер, Д. Уотерс, Б. Аникин, М. Гордон, А. Долгов, В. Дыбская, К. Инютина, Л. Миротин, Ю. Неруш, С. Резер, В. Сергеев, А. Смехов, В. Степанов, С. Уваров, Л. Федоров и другие |
| Четвертый<br>(гипотетический)          | Возможные варианты:<br>1. Эволюция (активизация информационных технологий и автоматизация принятия решения)<br>2. Качественный «скачек» в виде синтеза аналитических методов и имитационно-вероятностных моделей, реализуемых с помощью информационных технологий | Научные коллективы ученых разных стран:<br>Великобритания, Германия, Индия, Китай, Российская Федерация, Соединенные Штаты Америки  |

# Comparison of the theoretical and real EOQ models:

Сравнительная характеристика параметров теоретической и реальной моделей оптимального размера заказа:

| Parameter<br>Параметр   | Theoretical model<br>Теоретическая модель  | Real model<br>Реальная модель  |
|---|--|--|
| A,<br>C <sub>0</sub> ,<br>C <sub>П</sub> ,<br>i   | Все параметры рассматриваются как постоянные (детерминированные) величины  | Потребность в продукте A в общем случае переменная, случайная величина, динамический ряд которой включает тренд и сезонность;<br>C <sub>0</sub> - переменная величина, зависящая от объема заказа и вида транспортного средства;<br>C <sub>П</sub> (i) – при учете скидок дискретно (или непрерывно) изменяющаяся величина.  |
| q <sub>0</sub><br>T<br>N  | Все показатели считаются постоянными, при этом заказ q <sub>0</sub> поставляется полностью и мгновенно; период T и количество заказов N не могут быть изменены | В ряде случаев наблюдается значительная вариация всех показателей по сравнению с расчетными величинами, что приводит к затовариванию либо дефициту; если время разгрузки τ соизмеримо с T (немгновенная разгрузка), то это должно учитываться при расчете показателей модели; если заданы T (или N), то вместо q <sub>0</sub> рассчитываются величина заказа и соответствующие затраты.  |
| Ограничения и нелинейности<br>C <sub>0</sub> , C <sub>П</sub> , i, q <sub>0</sub><br>T, N | Не рассматриваются и не учитываются никакие виды ограничений и нелинейностей.  | Виды ограничений<br>-может быть минимальная и максимальная величина заказа;<br>-грузоподъемность и грузовместимость транспортных средств;<br>-складская площадь (объем), где размещается заказ;<br>-количество заказов (периодичность поставок) в плановый период;<br>-финансовые ограничения на приобретение заказов и сроки выплат и т.д.<br>Виды нелинейностей<br>-затраты на C <sub>0</sub> , C <sub>П</sub> и хранение в зависимости от объема заказа, тарифов, скидок и т.п.<br>-возникновение дефицита при отсутствии (или превышении) страхового запаса. |



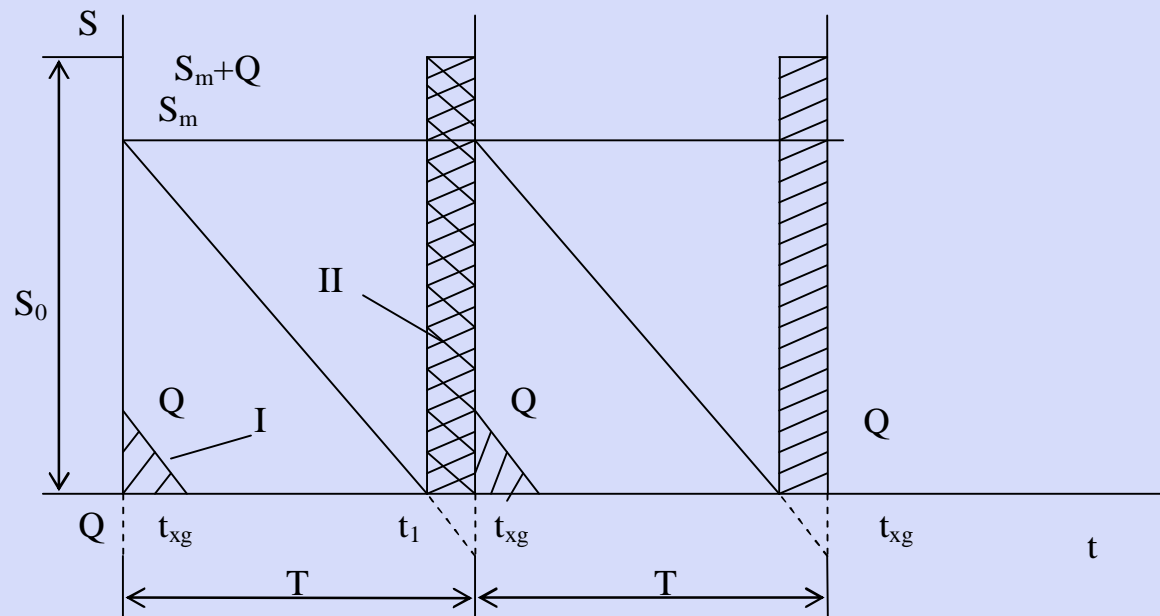
## The modified model of a current stock with the postponed deficiency

1. Traditional model of total expenses

$$C_{\Sigma}^* = C_3 + C_x + C_d$$

2. Offered model of total expenses

$$C_{\Sigma}^* = \frac{AC_0}{S} + \frac{C_x S_m^2}{2S} + \frac{C_g (S - S_m)^2}{2S} + \frac{C_x^* (S - S_m)^2}{2S} + \alpha k \theta (S - S_m)$$



I - not instant satisfaction of deficiency

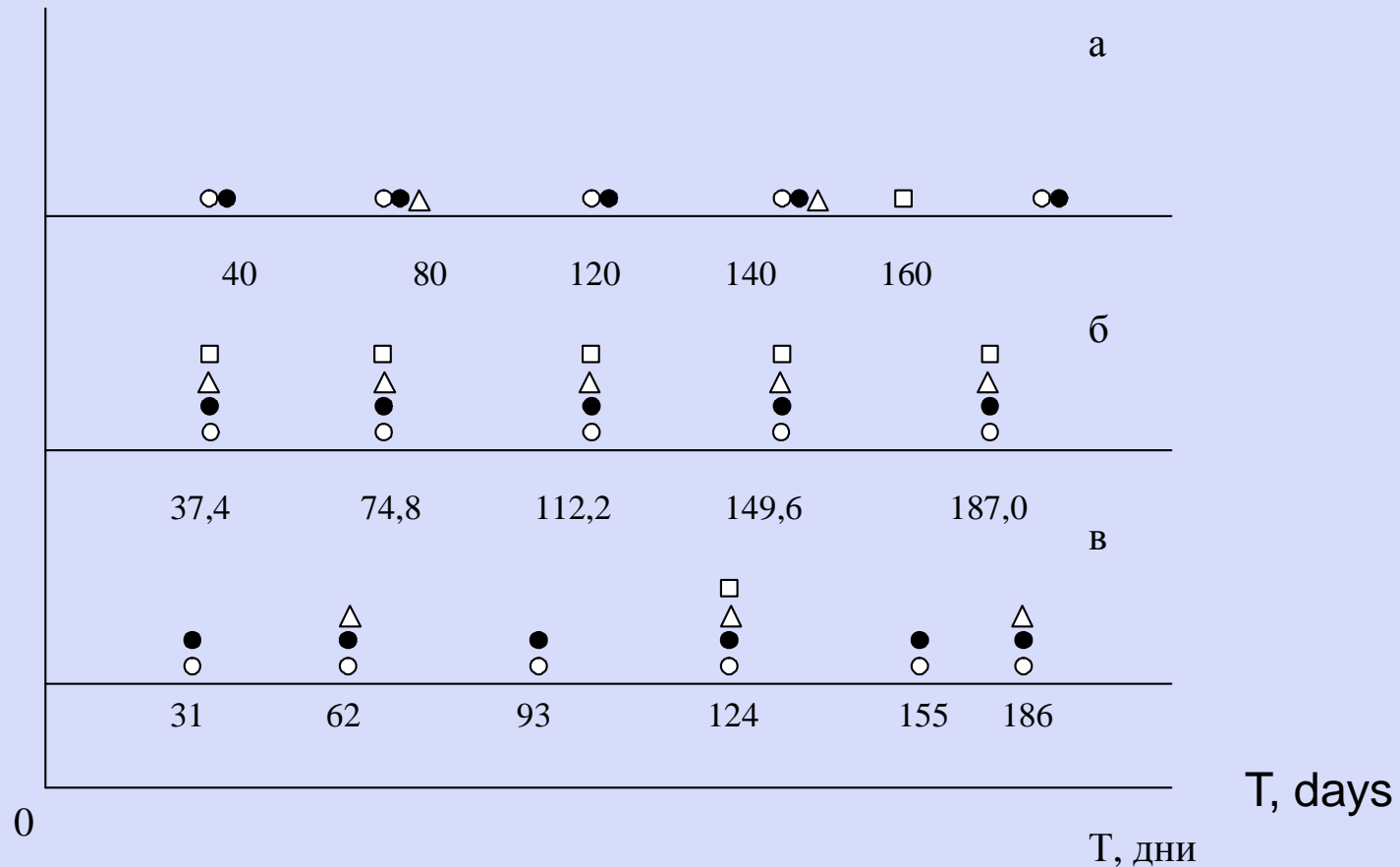
II - payment of a warehouse during deficiency

## Results of calculations of parameters for various variants of model with the postponed deficiency

| Parameters   | Variants             |   |  |   |
|--|----------------------|---|--|---|
|  | Model<br>E<br>O<br>Q | Traditional model<br>with<br>deficiency | Corrected model<br>with<br>deficiency<br>(in view of not<br>instant<br>realization<br>(unloading)) | Corrected model<br>with<br>deficiency (in<br>view of not<br>instant<br>realization<br>(unloading)<br>and expenses<br>for idle time of<br>a warehouse) |
| Optimum party of delivery  | 82                   | 100                                     | 95   | 84,4  |
| The maximal size of a current stock  | (82)                 | 67                                      | 79   | 74  |
| Deficiency   | 0                    | 33                                      | 16   | 10,4  |
| Minimal total expenses $C_{\sum_{\min}}$                                   | 12248                | 10000                                   | 10606  | 11860   |
| Components of $C_{\sum_{\min}}$ - performance of the order                 | 6124                 | 5000                                    | 5263   | 5924  |
| - storage (a current stock)  | 6124                 | 3367                                    | 3978   | 4866  |
| - losses because of deficiency   | -                    | 1633                                    | 909  | 192   |
| - storage of a stock (in view of not instant repayments of deficiency)     | -                    | -                                       | 455  | 96  |
| - on the maintenance of a warehouse (for the period of a scarce situation) | -                    | -                                       | -  | 780   |

# Different strategies of multi-objective deliveries:

Различные варианты стратегии многономенклатурных поставок:



а – independent deliveries / независимая поставка; б – simultaneous / одновременная поставка;  
в – divisible periods / кратная поставка.

- - product 1 (1 вид продукции) ● - product 2 (2 вид продукции);
- △ - product 3 (3 вид продукции) □ - product 4 (4 вид продукции).

# Model EOQ: perspectives of development

## Перспективы развития модели EOQ:

- **Gradual transition from the from the assumptions accepted at a conclusion of EOQ formula at its updating, by introduction of real parameters (casual, interconnected and interdependent), factors reflecting a plenty and making expenses;**
- **The obligatory account in model of the every possible restrictions connected with influence of internal factors;**
- **The detailed, authentic analysis of all expenses, their identification and unequivocal treatment;**
- **Reasonable complication models, its differentiation without which it is impossible to approach analytical dependences to practical applied problems;**
- **Development of the special program computer maintenance, allowing to make calculations of all possible variants of EOQ formula, to analyze them and to carry out a choice of effective decisions.**

-- постепенный переход от допущений, принятых при выводе формулы Уилсона и ее модификаций, путем введения реальных параметров (случайных, взаимосвязанных и взаимозависимых), отражающих большее количество факторов и составляющих затрат;

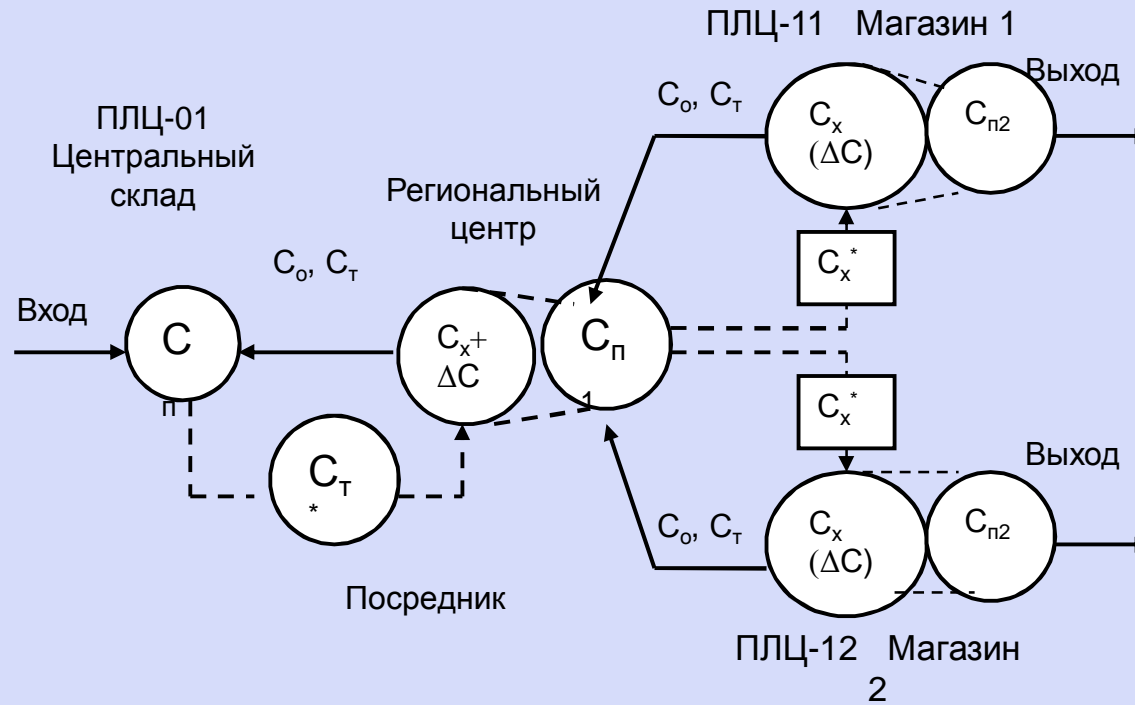
- обязательный учет в модели всевозможных ограничений, связанных с воздействием внутренних и внешних факторов;

- подробный, достоверный анализ всех затрат (издержек, расходов), их идентификация и однозначная трактовка;

- разумное усложнение модели, ее дифференциация, без которой невозможно приблизить аналитические зависимости к практическим прикладным задачам;

- разработка специального пакета для ПК, позволяющего проводить расчеты для всей гаммы возможных вариантов модели EOQ, анализировать их и осуществлять выбор эффективных решений.

## Logistics network which includes three SLC: “central warehouse – regional center – shops”



### Calculation results of logistics network

| Номер ПЛЦ | Описание ПЛЦ                            | Расчетный вариант ПЛЦ | $C_{\Sigma}$ , руб. |
|-----------|---|-----------------------|---------------------|
| 01        | Центральный склад<br>региональный центр | первый                | 1581                |
| 11        | региональный центр- магазин 1           | четвертый             | 551                 |
| 12        | региональный центр – магазин 2          | пятый                 | 1400                |
| Сумма     | -                                       | -                     | 3532                |

## Conceptions of the optimal costs in the Supply Chain:

Концепции оптимальности логистической цепи поставок:

### Minimum of the total costs, economical approach:

Критерий минимума общих издержек: экономический подход:

$$C_{\Sigma 0} = \sum_{i=1}^n \min C_i$$

### Minimum of the total costs, logistical approach:

Критерий минимума общих издержек: логистический подход:

$$C_{\Sigma 1} = \min \sum_{i=1}^n \text{opt} C_i$$

$C_i$  : purchase expanses - ( $C_3$ ), expanses on the production - ( $C_{\Pi}$ ), storing expanses - ( $C_X$ ), transportation costs - ( $C_T$ ) etc.

$C_i$  :затраты на закупочную деятельность ( $C_3$ ), производство ( $C_{\Pi}$ ), хранение ( $C_X$ ), транспортировку ( $C_T$ ) и т.д.

## EOQ model: total costs

Общая модель суммарных затрат:

$$C_{\Sigma} = C_K + C_3 + C_X + C_D + C_L$$

$C_{\Sigma}$  - Total costs / Суммарные затраты

$C_K$  – Purchase expanses / Затраты на приобретение продукции

$C_3$  – Expanses on the order accomplishment / Затраты на оформление заказа

$C_X$  – Storing expanses / Затраты на хранение запаса

$C_D$  – Loses from deficiency/ Потери от дефицита

$C_L$  – Latent costs / Латентные, скрытые затраты

## Обобщенный алгоритм выбора и построения транспортно - складской логистической сети



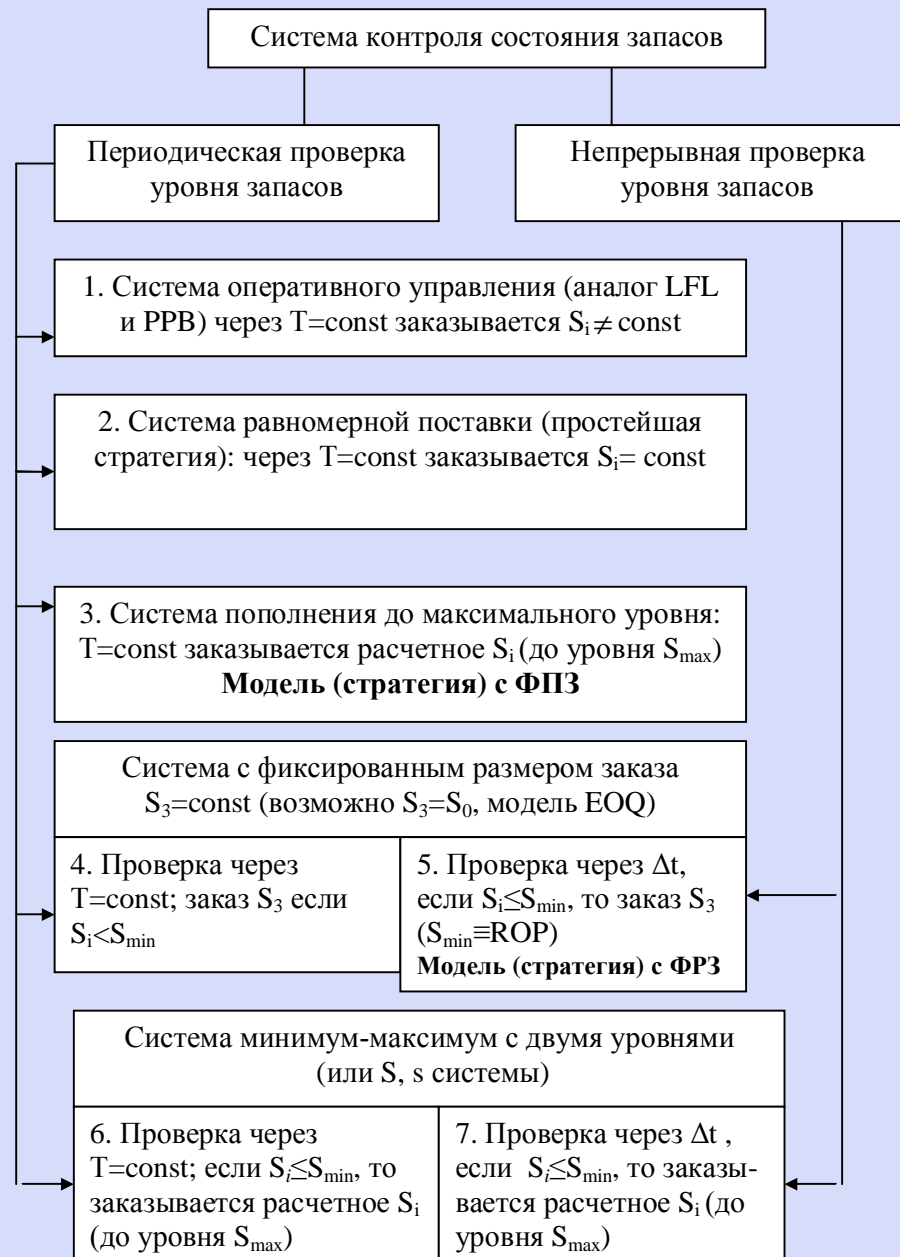


## EOQ model: total costs

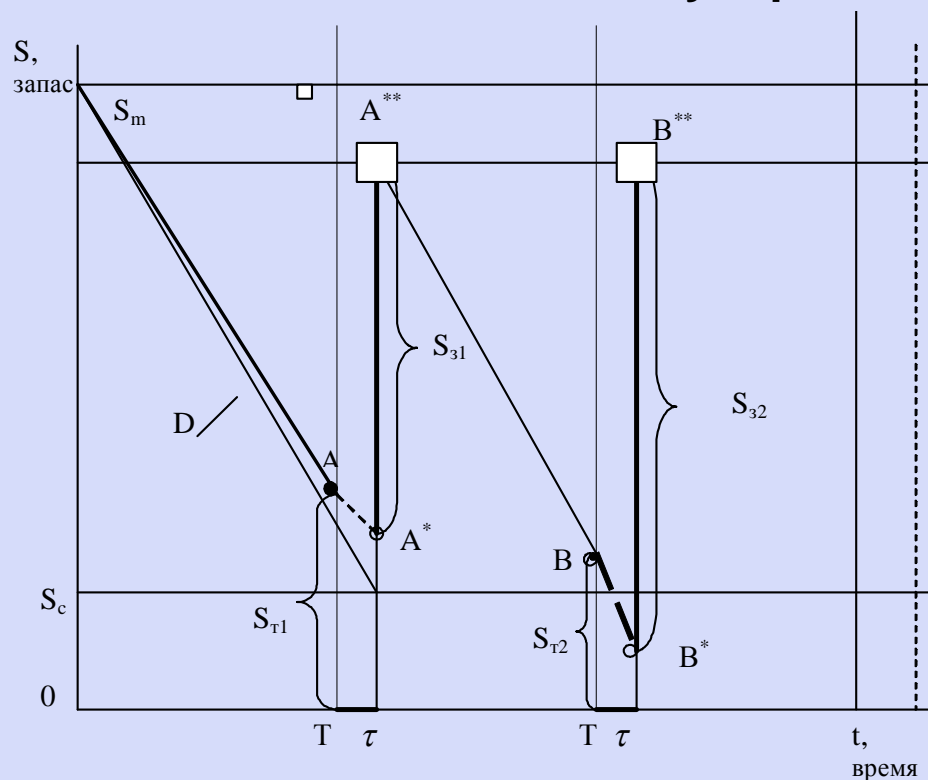
Общая модель суммарных затрат:

$$\begin{aligned} \tilde{N}_{\Sigma} = & \tilde{N}_i \varphi(l_i, S) + \frac{AC_0(C_i, Q, T_i, M)}{S} + C_i f S \varphi(l_i, S) \xi_1 \\ & + S \psi(\alpha, k_i, \theta) \xi_2 + C_{\tilde{n}} \cdot \eta(t_{\beta}, \sigma_D, \bar{D}, S) + C_{\ddot{A}} F(x_p, \sigma_D, \bar{D}, S) \end{aligned}$$

# Model (strategy) of inventory management



## Function of inventory replacement (with the fixed time period T)



Исходные данные:

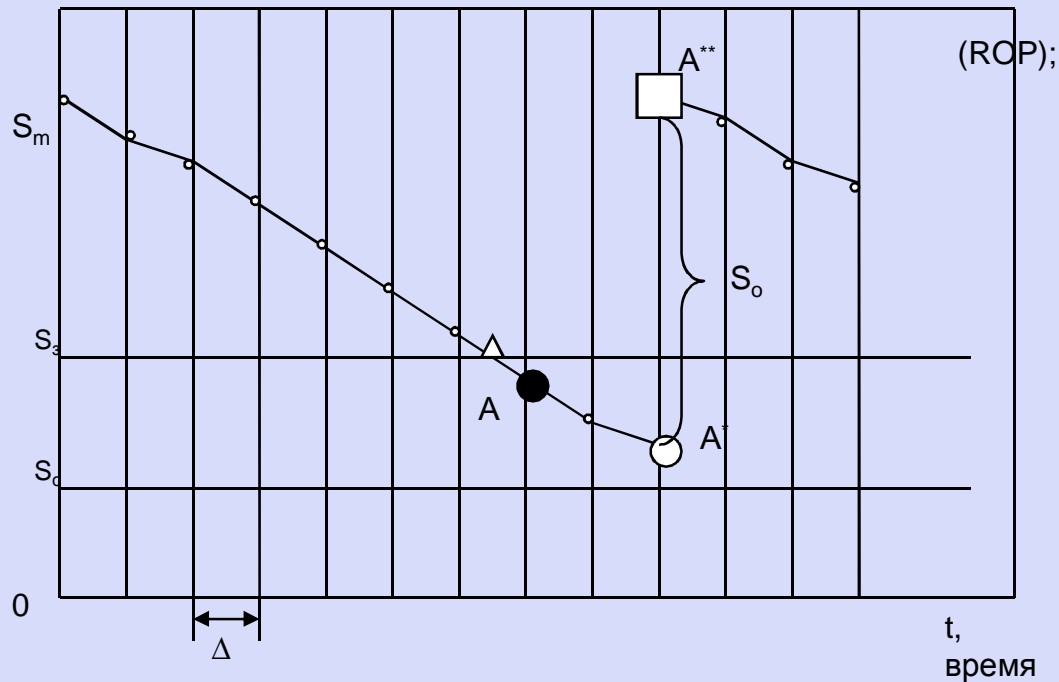
1. Интервал времени –  $T$ , дн.;
2.  $D, \sigma_d$  – среднее и с.к.о. среднесуточного расхода, ед./дн.;
3.  $\tau$  – среднее время выполнения заказа, дн.;
4.  $S_{тн}$  – начальный (текущий) запас, ед.

### Main calculation parameters

| Параметр                  | Первый цикл   | Последующие циклы                     |
|---------------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Страховой запас        | $S_{c1} = x_p \sigma_d \sqrt{T + \tau_c}$   | $S_c = x_p \sigma_d \sqrt{T}$         |
| 2. Максимальный запас     | $S_m = D(T + \tau) + S_{c1}$  | $S_m = DT + S_c$                      |
| 3. Размер заказа          | $S_3 = S_m - S_{т,i}$   | $S_3 = S_m - S_{т,i} + S_{т,j}(\tau)$ |
| 4. Средний уровень запаса | $S_{cp} = \frac{DT}{2} + S_c$   |                                       |
| 5. Общие затраты          | $C_{\Sigma} = \frac{A}{S} C_0 + C_x \frac{S}{2} + C_x x_p \sigma_d \sqrt{\frac{S}{D}} + \frac{A}{S} C_q x_p \sigma_d \sqrt{\frac{S}{D}} F(x_p)$ |                                       |

## Model (strategy) of inventory management with the fixed order quantity

S, запас



- $\triangle$  - точка пересечения уровня запаса
- $\circ$  - остаток запаса в момент заказа (A);
- $\bullet$  - остаток запаса в момент поступления заказа (A)
- $\square$  - текущий запас в начале следующего интервала (A\*\*).

Исходные данные:

1. Размер заказа  $S_0 = \text{const}$
2.  $D, \sigma_d$  – среднее и с.к.о. среднесуточного расхода, ед./д
3. Время выполнения заказа  $\tau(\sigma_\tau)$ , дн.;
4. Интервал времени контроля запаса  $\Delta$ , дн.

### Main calculation parameters

| Параметры                                | Расчетные формулы  |
|--|--|
| 1. Страховой запас                       | $S_c = x_p \sigma_c = x_p \sqrt{\left(\tau_c + \frac{\Delta}{2}\right) \sigma_d^2 + d_c^2 \sigma_\tau^2}$                    |
| 2. Максимальный запас                    | $S_m = S_0 + S_c$  |
| 3. Предельный уровень (точка) заказа ROP | $S_3 = D\left(\tau + \frac{\Delta}{2}\right) + S_c$  |
| 4. Средний уровень запаса                | $S_{\text{cp}} = \frac{S_0}{2} + S_c$  |
| 5. Общие затраты                         | $C_\Sigma = \frac{A}{S} C_0 + C_x \frac{S}{2} + C_x S_c(x_p, \sigma_c) + \frac{A}{S} C_{\ddot{a}} S_c(x_p, \sigma_c) F(x_p)$ |

## Algorithm of forming of inventory management system in the supply chains





Thank you!

Спасибо за внимание!