

# **ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

**Зыков В.В.**

Санкт-Петербургский государственный горный университет  
Факультет приборостроения, информационных и электронных систем  
Кафедра системного анализа и управления инновациями

## **Аннотация**

В статье представлена методика, позволяющая выявить необходимый уровень запаса на предприятии, что необходимо для оптимального удовлетворения потребности. При этом, не создавая дефицита, и перенасыщения.

## **Ключевые слова**

Прогноз, система, управление, запас, склад, имитационное моделирование, предприятие, стратегия, анализ.

## **Abstract**

The article looks at how to identify the level of stock in the company to optimally meet the requirements without creating scarcity and flooding.

## **Keywords**

Forecast, system, management, inventory, warehouse, simulation, enterprise strategy, analysis

Система управления запасами (СУЗ) занимает немало важную роль в любой сфере деятельности. Создавая процесс управления запасами, необходимо учитывать уровень воздействия внешней так и внутренней среды.

На предприятиях промышленного назначения, запасы классифицируются исходя из их технологической значимости. Классификация запасов достаточно многообразна, к особо значимым относят оборонный и нефтегазовый сектор промышленности, где запас является стратегически важным элементом системы.

Так как запасы имеют установленную материальную ценность. То для предприятий все возможные способы рационального расходования средств,

определяют количественный размер запаса. Инфляция, неплатежи и другие кризисные явления вынуждают предприятия изменять свою политику по отношению к производственным запасам, искать новые источники пополнения, изучать проблему эффективности их использования. Определение оптимальной величины производственных запасов, приобретает все большую значимость и требует к себе особого внимания.

Заметим, что в последние годы произошло заметное усовершенствование методов производства, что позволило снизить производственные расходы. Дальнейшая экономия средств, может быть достигнута, если будут реализованы резервы, заложенные в рационализации обеспечивающих процессов. Прежде всего, это относится к оптимизации запасов. Решения, принимаемые управленческим составом в этой области, в конечном счете, касаются каждого отдельного вида товара или предмета хранения, конкретная единица которых, подлежит постоянному (плановому) контролю.

Сегодня, благодаря активизации ряда факторов, в том числе и внедрению логистики, многие предприятия последовательно связаны друг с другом, производство и система запасов приобретают взаимозависимый характер. В такой ситуации управление производством означает организацию работы не только каждого звена в отдельности, но и всех вместе как единого целого. Анализируя систему производственных заказов, многие предприятия стали исходить из метода комплексного регулирования, позволяющего гармонично соединить все звенья и соразмерить объемы производства и запасов. Для этого, по мнению лиц принимающих решения, важно снизить их колебания на каждой стадии путем точного прогнозирования, позволяющего гармонично соединить все звенья и соразмерить объемы производства и запасов. А также необходимо иметь оценочную характеристику спроса на продукцию и провести такую политику заказов, которая позволила бы сбалансировать изменения спроса. Кроме того, для достижения искомого соответствия на каждой стадии все расхождения необходимо регистрировать, и информация о них посредством обратной связи

должна учитываться в исходном производственном плане с последующей возможностью корректировки.

Также необходимо помнить, что стратегия управления запасами разрабатываются в конкурентной среде, где своевременность и бесперебойность поставок выступают гарантом удовлетворения спроса, где спрос напрямую связан с количеством заказа.

Проблематика систем управления запасами, имеет ряд явно выявленных факторов, к которым относят: слишком большие отклонения сметного планирования от реального положения дел, (несмотря на значительные затраты на электронную обработку данных и систему в целом); отсутствие возможностей эффективно влиять на производительность системы; недостаточная свобода действий планирующих структур, и связанных с планированием сотрудников.

Решением рассматриваемых проблем организации запасов, служит заблаговременная опорная модель составления складских запасов.

Именно для решения такого рода задач, и служит система управления запасами, построенная на основе прогнозирования, с последующим моделированием работы склада.



Рис.1. Динамический ряд условных единиц запаса  
ряд 1 – динамика расхода у.е.з.; у – общее количество использованных единиц; n – число уровней динамического ряда

Рассмотрим пример целевого функционирования системы снабжения, где установленный спрос соответствует предложению, то есть приравнен к условным единицам запаса.

Рассмотрим динамический ряд (рис. 1), в качестве исходных данных которого, принимаются данные по расходу складских запасов, (они приводятся в условных единицах запаса) за период с 01 января 2002г. по 31 декабря 2011г. Данные приведены – в суммарном значении у.е.з. Всего сделано 10 измерений.

Если вычислительный процесс производить аналитическим методом, то при расчетах широко используется линейная, или линеаризуемая модель, то есть сводимая к линейной форме, как наиболее простая и в достаточной степени удовлетворяющая исходным данным.

В этом случае при постановке динамической задачи прогнозирования, уравнение регрессии имеет вид:

$$\hat{y} = a + bt,$$

где  $\hat{y}_i$  – вычисленное значение;  $\hat{y}$  – соответствующее значение  $t$ .

Константы  $a$  и  $b$  обращают сумму квадратов отклонений фактических значений от вычисленных в минимум, они вычисляются по следующим формулам (используя метод наименьших квадратов):

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n t_i y_i - \sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - (\sum_{i=1}^n t_i)^2} = -0.03; \quad a = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n t_i) = 1115.165$$

где  $b$  – коэффициент регрессии, который характеризует наклон линии регрессии,  $a$  – свободный коэффициент, характеризует уровень пересечения линии регрессии с осью  $y$ .

Для дальнейших расчетов прогнозного значения и построения тренда, целесообразно произвести вычисления с помощью программного продукта «Statgraphics plus».

На рис. 2 представлен тренд, построенный при помощи Statgraphics plus.

Вычислив коэффициент детерминации, так как он является критерием, позволяющим оценить качество модели. Также позволяет выбрать оптимальный вид кривой, которая визуализирует тенденции развития процесса.

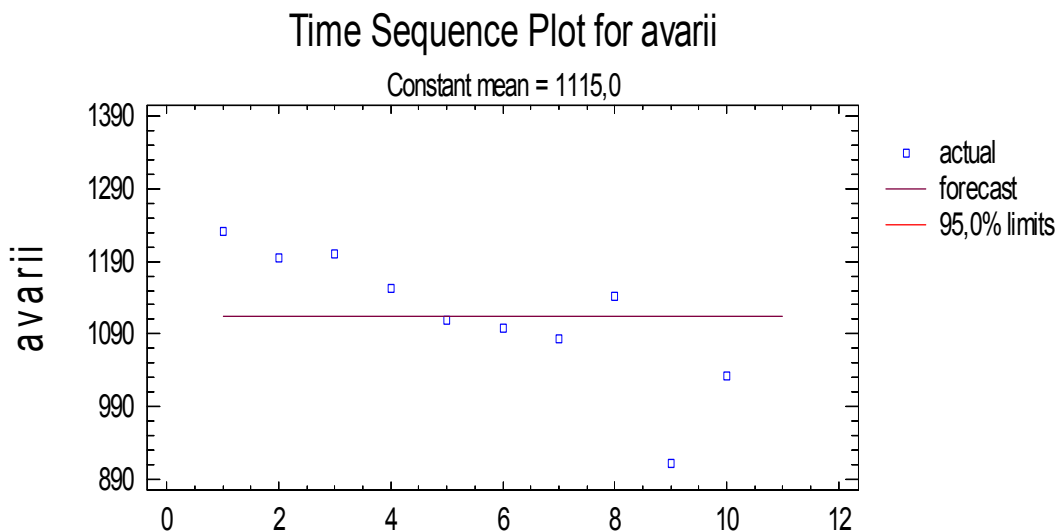


Рис. 2. Тренд линейной модели

Коэффициент детерминации  $r^2$  (то есть квадрат коэффициента корреляции) также определяется с помощью программного продукта «Statgraphics plus». При исследовании моделей: линейной, экспоненциальной, степенной, логарифмической, и гиперболической 1 и 2 типа. Наилучший результат показала экспоненциальная модель.

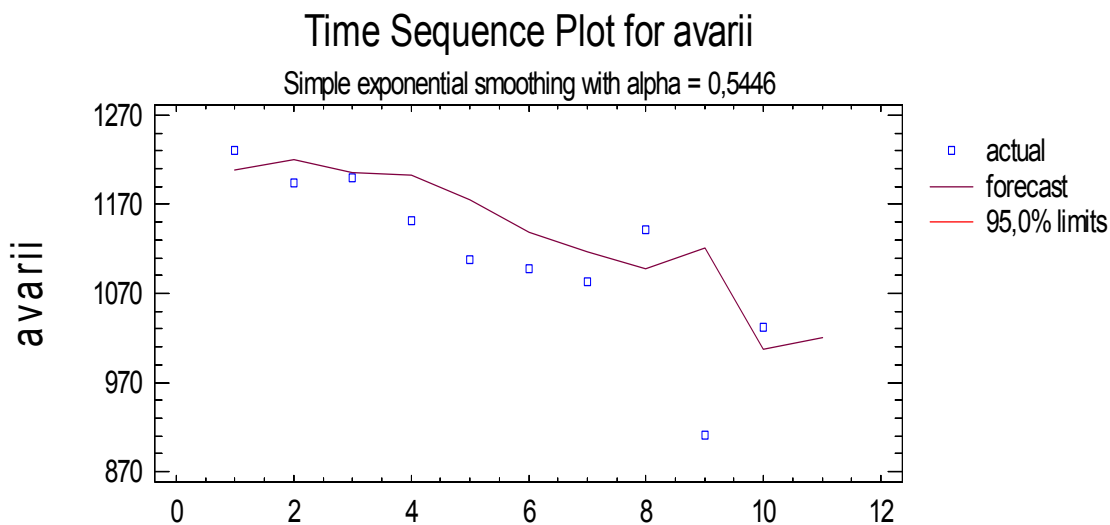


Рис. 3. График экспоненциальной модели

На рис. 3. представлен исходный динамический ряд и экспоненциальная модель.

Результат прогноза на 2012 год, при помощи экспоненциальной модели, составил 993,006 у.е.з.

Заметим, что точность прогноза выражается с помощью вероятностных пределов фактической величины от прогнозируемого значения. Необходимые для расчета квадратического отклонения показатели разности между фактическими значениями уровней представлены в таб.1.

**Таблица 1. Расчёт отклонения от экспоненциального тренда**

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$y_i$	1231	1194	1200	1152	1108	1098	1083	1141	911	1032
$\tilde{y}_i$	1225	1191	1203	1162	1118	1082	1078	1134	899	1019
$y_i - \tilde{y}_i$	6	3	-3	-10	-10	16	5	7	12	13

Определим доверительный интервал, то есть интервал, в котором с определенной степенью уверенности можно ожидать появления фактического значения прогнозируемой переменной.

Фактические результаты рассматриваемого параметра будут рассеяны около линии регрессии. Мерой рассеяния является дисперсия отклонений от линии регрессии, равная сумме квадратов отклонений, деленной на число степеней свободы.

Для этого найдем стандартную ошибку уравнения  $S_r$  (среднеквадратическое отклонение):

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Pi_i - \tilde{\Pi}_{i \text{ лог}})^2}{n - m}};$$

где  $m$  – число оцениваемых параметров регрессии.

В данном случае сумма квадратов отклонения составило 1521, тогда

$$S_r = 13,788$$

Заметим, что стандартная ошибка прогноза ( $S_{\tilde{y}}$ ) вычисляется по формуле:

$$S_{\tilde{y}} = S_r \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(t_k - \bar{t})^2}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}} = 14,615.$$

В общем виде доверительный интервал для тренда определяется как:

$$\Delta = t_a \cdot S_r.$$

Величина  $t_a$  (значение  $t$ -статистики Стьюдента) выбирается из таблиц в зависимости от  $a$  ( $a = 1 - p$ , где  $p$  – заданная вероятность осуществления прогноза ( $\approx 90\%$ )), и от  $\nu$  – объема выборки ( $\nu = n - m$ , где  $n$  – число уравнений динамического ряда,  $m$  – число оцениваемых параметров регрессии).

При  $a = 0,1$  и  $\nu = 10 - 2 = 8$  величина  $t_a \approx 1,78$ .

#### Тренд и доверительный интервал

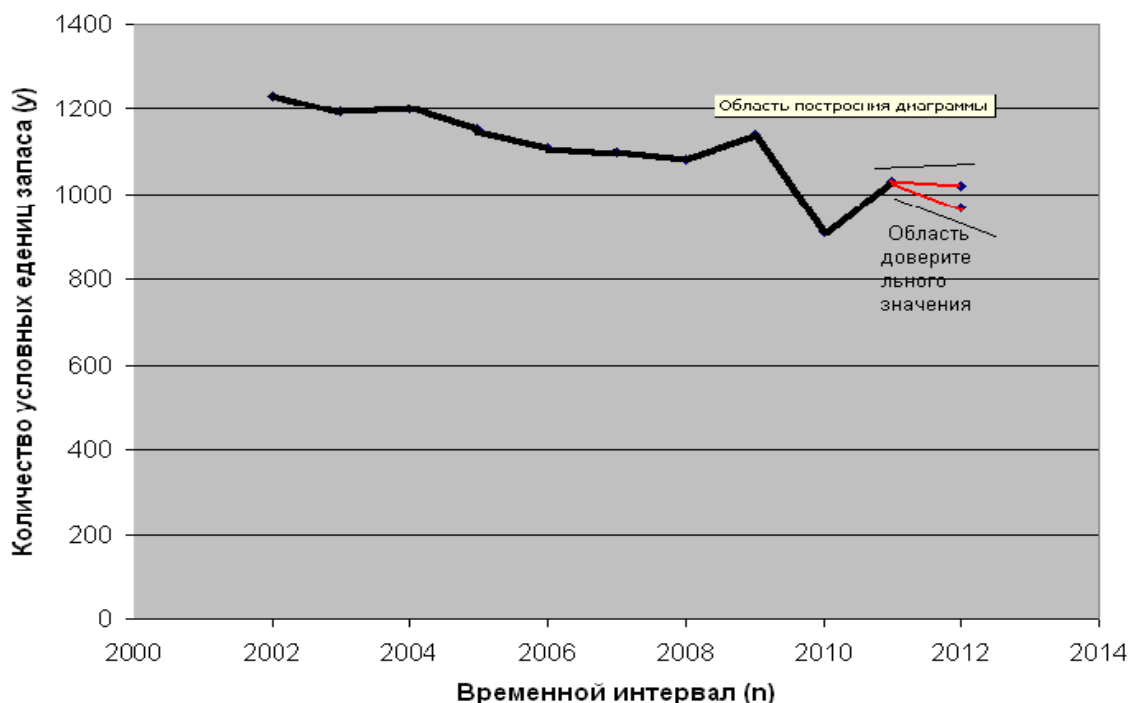


Рис. 4. Тренд и доверительный интервал  
 ряд 1 – тренд у.е.з.,  $y$  – общее количество использованных единиц,  
 $n$  – временной интервал

При вычислении доверительного интервала по формуле учитывается неопределённость, связанная с положением тренда, а для того, чтобы учесть возможность отклонения от этого тренда, доверительный интервал прогноза следует вычислять по формуле:  $\Delta = t_a \cdot S_{\tilde{Y}}$ ,

тогда доверительный интервал:  $\Delta = 14.615 \cdot S_{\tilde{Y}} = 26$ .

На рис. 4. изображены доверительные интервалы для линии регрессии, описывающей линейный тренд.

В итоге, приблизительно с 90%-й вероятностью следует ожидать, что будущее значение лежать в пределах от 967 до 1020.

За основу для имитационного моделирования возьмём числовые значения построенного прогноза, так как он содержит условные единицы запаса, которые необходимы для формирования входных потоков заказа.

Для моделирования работы склада необходимо сформировать входные потоки заказов материала на склад, определить спрос материалов со склада и временной интервал моделирования работы склада. Но перед этим необходимо выбрать единицу измерения времени.

Для моделирования работы склада можно взять в качестве единицы измерения времени – день. Ежедневный спрос определяется с помощью датчика псевдослучайных чисел, который определяет, значение вероятностей в интервале [0–1]. В данном случае оно равно 0,170. Тогда величина спроса будет определяться, следующим образом:

$$X_{\min} + (X_{\max} - X_{\min}) * P = 2.636,$$

где  $X_{\min}$  – минимальный спрос условных единиц запаса, за день;

$X_{\max}$  – максимальный спрос условных единиц запаса, за день.

Предположим, предприятие имеет свой склад, вместимостью 150 типовых единиц. Начальный запас материала на складе составляет 120 единиц. Ежедневный спрос материала изменяется в пределах от 2.5 до 3.3 единиц с равной вероятностью. Если текущий запас равен или больше 10, то никакой поставки материалов на склад не производится.



Ввод значений для создания имитационной модели не требует строго математического описания всей системы. Достаточно знать в общих чертах алгоритм функционирования и взаимодействия частей системы. Программирование модели представлено в таб. 2.

*Таблица 2. Постановка условий работы склада*

```

; GPSSW Upr_zapasom.GPS
*****
*           Управление запасами           *
*****
* Определение входных данных.
      RMULT  413
Zapas  STORAGE      150; Вместимость склада.
Zapas  TABLE  S$Zapas,100,100,20; Гистограмма запаса.
Material VARIABLE      Nach_ur-S$Zapas; Размер заказа.
Spros_m VARIABLE      RN1@2,5+3,3; Размер ежедневного спроса.
Nach_ur EQU      120      ; Начальный уровень запаса.
Postavka EQU      10      ; Размер поставки.
*****
* Моделирование процесса поставки материала на склад.
      GENERATE      1,,,52 ; Поставка через 1 дней.
      TEST L  S$Zapas,Postavka,Out ; Нужна ли поставка.
      ASSIGN  2,V$Material ; Размер заказа в P2.
      ADVANCE      1      ; Интервал поставки.
      ENTER   Zapas,P2      ; Увеличить запас на P2.
Out    TERMINATE      ; Завершение заказа.
*****
* Моделирование текущего запаса с учетом спроса.
      GENERATE      1      ; Ежедневный спрос.
      ASSIGN  1,V$Spros_m ; Размер спроса в P1.
      TABULATE      Zapas ; Запись текущего запаса.
      TEST GE S$Zapas,P1,Zapasout ; Можно ли заказать.
      LEAVE   Zapas,P1      ; Уменьшение запаса на P1.
      TERMINATE      1      ; Завершения дня.
Zapasout TERMINATE      1      ; Завершения дня.
*****
* Установление начального размера запаса.
      GENERATE      ,,1,10 ; Начальный запас.
      ENTER   Zapas,Nach_ur ; Установка начального запаса.
      TERMINATE      ; Завершение установки.
*****

```

После ввода параметров, программа по средствам математических алгоритмов, моделирует процесс функционирования склада в заданном промежутке времени, в данном случае в течении 365 дней.

**Таблица 3. Модель работы склада**

GPSS World Simulation Report - Untitled Model diplom.55.1  
 Tuesday, February 28, 2012 22:13:02

START TIME	END TIME	BLOCKS	FACILITIES	STORAGES
0.000	365.000	16	0	1

NAME	VALUE
MATERIAL	10007.000
NACH_UR	150.000
OUT	6.000
POSTAVKA	10.000
SEROS_M	10008.000
ZAPAS	10006.000
ZAPASOUT	13.000

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	48	0	0
	2	TEST	48	0	0
	3	ASSIGN	6	0	0
	4	ADVANCE	6	0	0
	5	ENTER	6	0	0
OUT	6	TERMINATE	48	0	0
	7	GENERATE	365	0	0
	8	ASSIGN	365	0	0
	9	TABULATE	365	0	0
	10	TEST	365	0	0
	11	LEAVE	274	0	0
	12	TERMINATE	274	0	0
ZAPASOUT	13	TERMINATE	91	0	0
	14	GENERATE	1	0	0
	15	ENTER	1	0	0
	16	TERMINATE	1	0	0

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
ZAPAS	150	149	0	150	1030	1	58.712	0.391	0	0

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY FREQUENCY	CUM.%
ZAPAS	58.712	49.639	-	0	
			100.000	270	73.97
			100.000	95	100.00

В таб. 3 представлена модель работы склада. Из неё видно, что запас на складе не превышал 150 единиц запаса. Среднее количество материала на складе составляет 58,7. Так же не было ни одного отказа. Пересмотрев полученные результаты, а также график модели функционирования склада (рис. 4) можно прийти к выводу, что полученная имитационная модель системы управления запасами показывает равномерную и оптимальную работу склада.

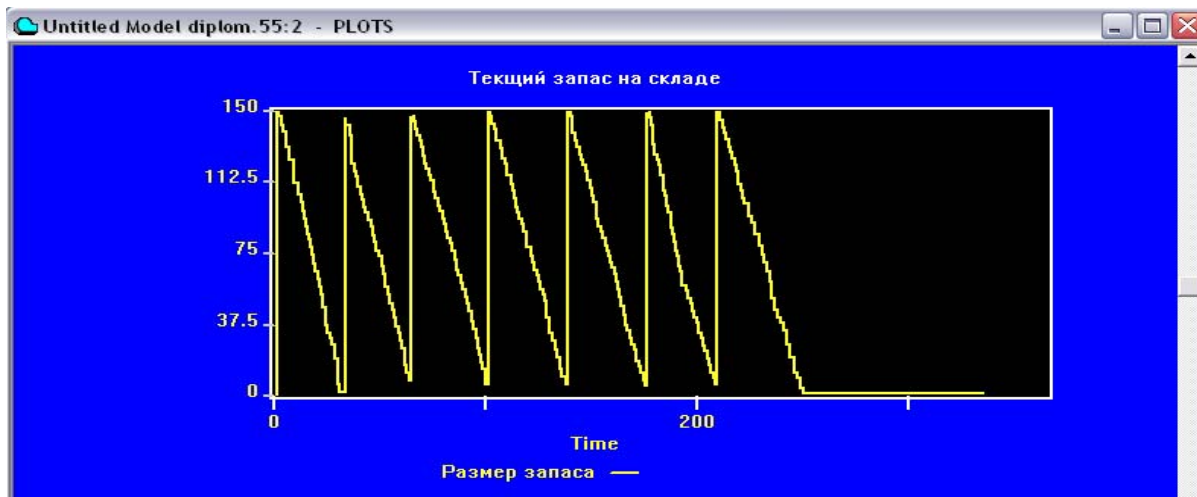


Рис. 4. График изменения запаса на складе

Таким образом, в результате рассматриваемого метода, Построенная прогнозная модель позволяет выявить особенности развития исследуемого процесса и на основе этого предсказать его будущее протекание при изменении каких-либо параметров.

Создание представленного метода, направлено на поднятие эффективности распределения средств вложенных в запасы, так как созданная модель служит опорой для сметного планирования(логистики).

### Литература

1. Голик, Е.С. Системное моделирование. Часть I. Имитационное моделирование. Факторный эксперимент: учеб. пособие по /Е.С Голик, О.В. Афанасьева. – СПб.: СЗТУ, 2007.
2. Голик, Е.С. Теория и методы прогнозирования: учеб.-метод. комплекс /Е.С Голик. – СПб.: СЗТУ, 2008.
3. Кудрявцев, Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования и различных систем /Е.М. Кудрявцев. – М.: ДМК, 2004.
4. Гаджинский, А.М. Логистика /А.М. Гаджинский. – М, 2001.

*Рецензент доц. Афанасьева О.В.*