

УДК 004.896(06)

Разработка программной среды для моделирования и оптимизации складской политики двухэшелонных многопродуктовых цепей поставки

*Маликова А.А., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Компьютерные системы автоматизации производства»*

*Научный руководитель: Афонин П.В., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
gss@bmstu.ru*

Введение

В последнее время управление складом в многоэшелонных цепях поставки играет важную роль в процессе управления сложной системой. Наиболее значимым является определение параметров заказа, а именно: что, когда и в каких количествах заказывать. В частности, на предприятиях данная задача решается с помощью аналитических расчетов, при которых используется упрощенная модель складской системы [1], а для определения оптимальной стратегии управления такой системой применяется аналитический метод и экспертный подход.

В реальных условиях многоэшелонная цепь это сложная система, потому что между эшелонами существуют взаимосвязи. Поэтому функционирование системы очень трудно, а порой невозможно описать и исследовать аналитическим методом. Для разработки моделей таких систем хорошо подходит имитационное моделирование [2]. Так, при решении задачи оптимизации складской политики строится имитационная модель складской системы, параметры которой оптимизируются [3].

В данной работе описана программная среда моделирования и оптимизации параметров складской политики двухэшелонных цепей поставки.

Структура цепи поставки

Среда позволяет моделировать и оптимизировать складскую политику двухэшелонных цепей поставок объединенного типа (рис.1). Структура цепи включает магазины, которые находятся в определенном радиусе от распределительного склада. Ассортимент для магазинов поддерживается одинаковым. В каждый магазин товар доставляется грузовиком из распределительного склада, причем грузовик не отправляется, пока вес товара в нем не превысит заданный минимальный вес. Также у грузовика есть ограничения на максимальный вес. Каждый товар характеризуется весом, поставщиком, <http://sntbul.bmstu.ru/doc/586048.html>

стоимостью хранения в распределительном складе и магазине. Если количество товара становится меньше критического уровня, то осуществляется заказ товара. Объем заказа фиксированный. Магазины отличаются частотой прихода покупателя, расстоянием до распределительного склада и стоимостью доставки. Считается, что товар всегда есть у поставщика. Поставщики характеризуются временем и стоимостью доставки товара в распределительный склад.

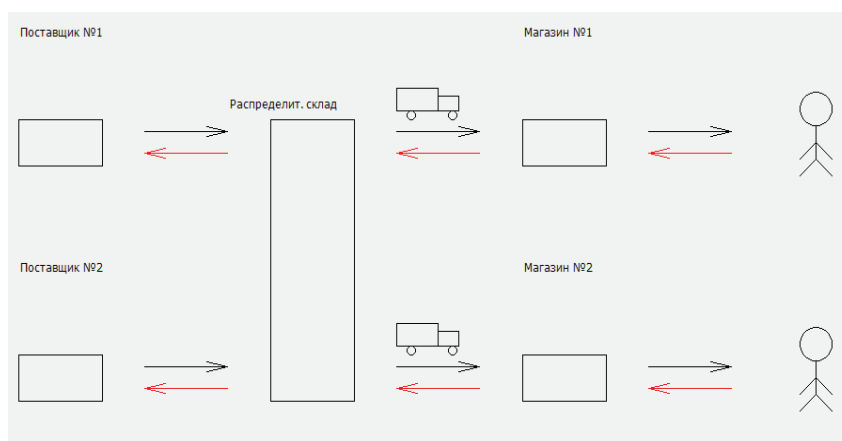


Рис.1. Двухэшелонная цепь поставок

Структура среды

Среда включает: блок ввода исходных данных, блок имитационного моделирования, блок выбора параметров оптимизации и блок оптимизации на базе алгоритма эволюционной стратегии.

В *блоке исходных данных* (рис. 2) задаются все необходимые исходные данные. В *блоке имитационного моделирования* вычисляются издержки транспортировки и хранения, а так же процент времени, которые каждый товар был в дефиците от общего времени работы системы.

Среда для моделирования и оптимизации складской политики цепей поставок

Модель

Параметры системы | Моделирование | Оптимизируемые параметры и ограничения | Алгоритм оптимизации

Введите количество магазинов:

Введите количество поставщиков:

Введите количество товаров:

Структура цепи поставок:

ДАННЫЕ ПО ТОВАРАМ:

Номер товара	Вес товара	Номер поставщика	Стоимость хранения в РС	Объем заказа РС	Критический уровень РС	Стоимость хранения маг. 1	Объем заказа маг. 1	Критический уровень маг. 1	Вероятность покупки товара маг. 1	Стоимость хранения маг. 2	Объем заказа маг. 2	Критический уровень маг. 2	Вероятность покупки товара
1													
2													
3													

ДАННЫЕ ПО ПОСТАВЩИКАМ:

Номер поставщика	Время доставки до РС (мат. ожидание)	Время доставки до РС (дисперсия)	Стоимость доставки до РС
1			
2			

ДАННЫЕ ПО МАГАЗИНАМ:

Номер магазина	Время доставки до магазина (мат. ожидание)	Время доставки до магазина (дисперсия)	Частота прихода покупателя (парам. для эксп. распределения)	Стоимость доставки до магазина	Максимальный вес грузовика	Минимальный вес грузовика
1						
2						

Ошибки:

Рис.2. Блок задания исходных данных

Критерием оптимизации являются суммарные затраты на интервале планирования, рассчитываемые по формуле:

$$W = W_I + W_D$$

при обеспечении того, что дефицит для каждого товара не превышает некоторого заранее заданного значения $d(\%)$;

где W_I – издержки хранения, W_D – издержки транспортировки.

В качестве оптимизируемых параметров используются параметры складской политики. Пользователю предлагается выбрать критические уровни и объемы заказов, подлежащие оптимизации с использованием алгоритма эволюционной стратегии. Существует возможность задания параметров оптимизации с помощью формул.

В качестве оптимизационного алгоритма используется эволюционная стратегия типа (μ, λ) .

На выходе пользователь получает вектор оптимизированных параметров (в него входят все параметры складской политики) и суммарные издержки хранения и транспортировки. Можно транслировать полученное решение в блок исходных данных и исследовать его с использованием имитационного моделирования. Также возможно повторно запустить процесс оптимизации для полученного решения, которое будет использоваться при генерации начальной популяции эволюционной стратегии.

Определение функции пригодности для эволюционной стратегии

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/586048.html>

Функция пригодности для эволюционной стратегии должна удовлетворять следующим условиям:

1. Функция пригодности должна быть больше 0.
2. Функция пригодности должна быть адекватна задаче. Так, если решается задача минимизации функции пригодности, то меньшее значение функции пригодности должно соответствовать более оптимальному состоянию системы.
3. Функция пригодности должна иметь ярко выраженный рельеф.
4. Функция пригодности должна требовать минимальных вычислительных ресурсов.

Сложность определения функции пригодности для данной задачи заключается в том, что необходимо учесть в функции пригодности, что дефицит для каждого товара не должен превышать некоторого заранее заданного значения $d(\%)$.

Для определения функции имеются следующие исходные данные:

1. Средние за заданное количество прогонов суммарные издержки.
2. Процент времени, которое каждый товар был в дефиците от общего времени работы системы. Например, для товара, график инвентаризации которого представлен на рисунке 3, процент равен 33.3%.

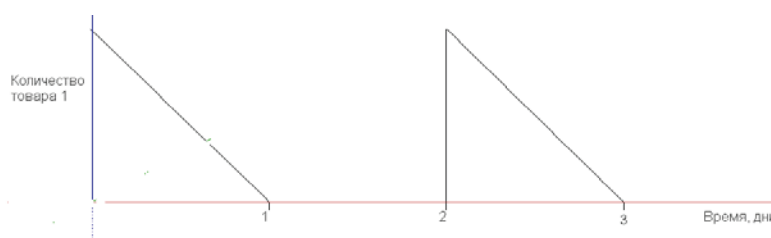


Рис.3. График инвентаризации

3. Желаемый процент времени, который каждый товар был в дефиците.

Функция пригодности вычисляется по формуле:

$$S = W + W_s,$$

где S – целевая функция, W – суммарные издержки, W_s – штрафная функция.

Определение штрафной функции

Найденная складская политика должна в первую очередь должна соответствовать ограничениям на процент дефицита и лишь потом обеспечивать минимум суммарных издержек. Поэтому в [5] предложено использовать функцию

$W_{si} = k * \frac{\arctg(x_i - x_i^*) + \pi/2}{\pi/2}$, где x_i^* - желаемый процент времени для данного товара,

x_i – текущий процент времени для данного товара, k – коэффициент масштаба, W_{si} – штрафная функция для i -ого. Данная функция (рис.4) для $x_i^* = 5$:

1. В диапазоне от 0 до 2.5 обеспечивает небольшое изменение штрафной функции при изменении процента дефицита, что ведет к тому, что оптимизация в основном проводится по критерию минимизации суммарных издержек хранения и транспортировки.
2. В диапазоне от 2.5 до 7.5 изменение дефицита будет сильно влиять на изменение целевой функции и критерий минимизации дефицита выходит на первый план.
3. В диапазоне от 7.5 до 100 издержки достаточно велики, чтобы особи, попадающие в этот диапазон, не проходили отбор.

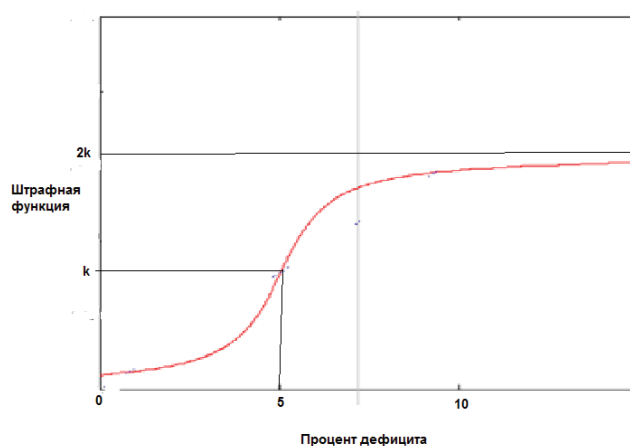


Рис. 4. Штрафная функция

Общая штрафная функция вычисляется по формуле:

$$W_s = k \sum_{i=1}^n \frac{\arctg(x_i - x_i^*) + \pi/2}{\pi/2},$$

n – количество товаров.

Коэффициент k вычисляется в зависимости от коэффициента k^* , задаваемого пользователем. Если коэффициент $k^*=1$, то коэффициент k вычислется следующим образом:

1. Проводится вычисление суммарных издержек W .
2. Вычисляется $k=W/n$.

Если коэффициент k^* не равен 1, то найденное в пункте 3 k умножается на k^* .

Коэффициент k целесообразно задавать больше единицы, когда в результате оптимизации получается складская политика не удовлетворяющая ограничениям. Это

происходит в следствие того, что для большего числа товаров условие $x_i < x_i^*$ выполняется, следовательно, функции W_{si} этих товаров не велика, а для небольшого числа товаров $x_i > x_i^*$. В этом случае коэффициент k имеет смысл задавать равным количеству товаров, для которых не выполнилось условие.

Экспериментальные исследования

Данная програмная среда была применена для оптимизации системы, состоящей из пяти магазинов, ассортимент включал 10 товаров. Объем заказа 10 штук, критический уровень 5 штук. Для данной политики суммарные издержки составляли 5227348, процент дефицита приведен в таблице 1.

Таблица 1

Процент времени, которое товар был в дефиците, от общего времени работы магазина (для исходного варианта)

Номер товара	Номер магазина				
	1	2	3	4	5
1	0.4	0.5	0.8	0.5	0.9
2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3
3	0.0	0.1	0.1	0.1	0.3
4	0.1	0.3	0.4	0.5	1.3
5	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3
6	0.2	0.4	0.6	0.6	0.9
7	0.0	0.1	0.1	0.5	1.6
8	0.7	0.8	1.3	0.8	1.5
9	0.7	0.6	0.9	0.9	1.2
10	0.9	0.7	0.6	0.7	1.5

Использование данной программной среды позволило найти складскую политики (табл. 2) , соответствующую на 33% меньшим издрержкам, по сравенению с исходным вариантом. При этом выдержаны ограничения на процент дефицита (процент дефицита по условию задачи не должен был превышать 5% для каждого товара) (табл.3). Коэффициент для штрафной функции при оптимизации равнялся 1.

Таблица 2

Объем заказа и критический уровень для складов магазинов

Номер товара	Номер магазина				
	1	2	3	4	5
1	14, 8	14, 10	14, 5	32, 2	13, 4
2	11, 9	6, 5	12, 10	10, 10	4, 4
3	11, 9	6, 5	12, 10	10, 10	4, 4
4	11, 9	6, 5	12, 10	10, 10	4, 4
5	11, 9	6, 5	12, 10	10, 10	4, 4
6	11, 9	16, 10	12, 2	6, 4	11, 8
7	65, 15	16, 7	10, 5	5, 4	7, 5
8	12, 15	12, 12	40, 16	12, 8	13, 18
9	12, 15	12, 12	40, 16	12, 8	13, 18
10	12, 15	12, 12	40, 16	12, 8	13, 18

Таблица 3

Процент времени, которое товар был в дефиците

Номер товара	Номер магазина				
	1	2	3	4	5
1	0.0	1.4	0.3	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
4	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	1.5	0.6	0.0	0.2
7	0.0	0.0	0.0	2.2	0.1
8	0.0	1.0	0.0	0.8	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0

Заключение

1. Разработана программная среда для моделирования и оптимизации складской политики многопродуктовой двухэшелонной системы.
2. Проведена оптимизация складской политики системы включающей 5 магазинов и 10 товаров, что позволило снизить суммарные издержки на 33% процента по сравнению с исходным вариантом.

Список литературы

1. Захаров П.А. Управление запасами и организация поставок в условиях позаказного производства на основе гибридных систем // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник трудов Международного научно-практического семинара (Коломна, 17 – 18 мая 2001 г.) – М.: Наука. Физматлит, 2001. – С.83 – 88.
2. Лоу А., Кельтон В. Имитационное моделирование. Классика CS. – 3-е изд.- Спб.:Питер:Киев:Изд. Группа BHV, 2004 – 847 с.
3. Стерлингова А.Н. Управление запасами в цепях поставок: Учебник. – М.:ИНФРА, 2008.
4. Афонин П.В., Маликова А.А. Имитационное моделирование многопродуктовой складской системы дискаунтов и оптимизация складской политики на базе эволюционных метаэвристик//Синергетика и моделирование сложных систем. Сборник трудов конгресса IS – IT'12 (Дивноморск, 2 – 9 сентября 2012 г.) - М.: Наука. Физматлит, 2001. – С.171 – 176.