

К ВОПРОСУ О РЕАЛИЗАЦИИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЯ



**ГАЛИНА
ЗАЙКОВСКАЯ,**
ОАО «НПП
«Гранит-Центр»,
аспирант ВЗФЭИ

В современной научной практике считается общепринятым мнение о том, что областью применения имитационного моделирования являются сложные системы, аналитическое моделирование которых затруднено, сложно для восприятия работниками моделируемых объектов или не обеспечивает необходимой достоверности результатов решения [7].

При разработке, модификации и адаптации к условиям реальной среды моделей управления запасами в качестве наиболее значимых выделяют два вида неопределенности: случайность спроса и случайность отклонения фактического времени поставок от запланированного [5]. Построение аналитической модели, которая могла бы учесть оба названных фактора неопределенности, является задачей сложной и едва ли разрешимой в полной мере. Таким образом, представляется целесообразным построение и реализация имитационной модели управления запасами торгового предприятия.

На концептуальном уровне имитационная модель (ИМ) управления запасами типового оптового предприятия представляется в виде схемы [3, 4], которая в зависимости от реальных условий функционирования объекта и постановки задачи исследования может быть детализирована либо агрегирована (укрупнена). Детализированные схемы ИМ могут содержать множество элементов и иметь сложную топологию, тогда при их построении рекомендуется использовать специализированные методологии, например IDEF0 (методология, используемая для создания функциональной модели) [9], UML (Unified Modeling Language — унифицированный язык моделирования) [8]. Для создания и описания агрегированных схем (схем «верхнего уровня»), отражающих с высокой степенью абстракции только наиболее существенные объекты (агрегаты) и связи исследуемой системы, можно воспользоваться более простыми и доступными неподготовленному пользователю средствами, например программным продуктом MS Visio (Рис. 1).

Важным этапом в реализации имитационной модели является определение исходных значений параметров модели (всех ее блоков). Выбор исходных значений параметров напрямую связан с характером исходных статистических данных, поставляющих информацию о работе моделируемой системы «как есть». Для предварительной обработки имеющихся исходных данных широко используются методы теории вероятностей и математической статистики [2].

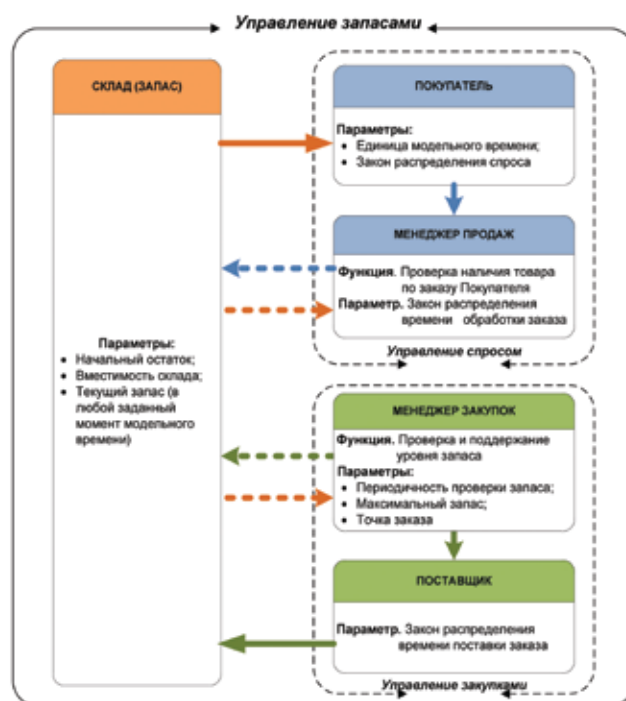


Рис. 1.
Агрегированная схема
имитационной модели управления запасами

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ БЛОКА «ПОКУПАТЕЛЬ»

Блок Покупатель (Рис. 1) генерирует транзакты (динамические объекты), которые должны имитировать спрос, поступающий на моделируемое предприятие оптовой торговли. В зависимости от экономического смысла, который разработчик или пользователь модели назначает транзакту, определяются значения параметров блока.

1) *Параметр «Единица модельного времени»*. Выбор единицы модельного времени основан на следующем рас-

АННОТАЦИЯ:

Представленная имитационная модель управления запасами и подход к её реализации могут быть использованы менеджерами предприятий оптовой торговли для решения задач оптимизации товарного запаса в условиях неопределенности, а также разработчиками средств имитационного моделирования — для внесения в библиотеку типовых блоков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Управление запасом, имитационное моделирование, оптовое предприятие

ANNOTATION:

The presented simulation model of inventory management and approach to its implementation can be used by managers of wholesale companies for solving inventory optimization problems under conditions of uncertainty, as well as by developers of simulation software tools for inclusion in standard blocks libraries.

KEYWORDS:

Inventory management, simulation, wholesale trading company

ННОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ТЯ ОПТОВОЙ ТОРГОВЛИ

суждении. Если транзакты ассоциируются с поступающими на предприятие заказами покупателей, частота поступления которых составляет несколько заказов в час, то за единицу модельного времени целесообразно принять одну минуту. Если статистические данные о поступлениях заказов покупателей на предприятие отсутствуют, а имеются только итоговые данные о ежемесячных отгрузках, например, за 3 года, тогда для имитации среднего спроса за единицу модельного времени принимается 1 день: в каждую единицу модельного времени (каждый день) появляется один транзакт, имитирующий среднего спроса.

2) *Параметр «Закон распределения спроса»*. Для определения исходных значений этого параметра используются статистические данные о продажах (отгрузках) в заданном периоде. (Таблица 1).

На основании имеющихся данных делаем предположение о равномерности распределения среднего спроса в течение месяца в интервале $[\text{Min}(d_j), \text{Max}(d_j)]$ (Рис. 2, пунктирная линия). Интервал определения случайной величины среднего спроса несколько сужается, если его границы установить соответственно как разность и сумму среднего значения случайной величины среднего спроса \bar{d} и ее стандартного отклонения σ_d : $[(\bar{d} - \sigma_d), (\bar{d} + \sigma_d)]$ (Рис. 2, штриховая линия), где

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i}{n}, \quad \sigma_d = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n}} \quad (1)$$



Рис. 2.

Область определения значений среднего спроса

Анализ исходных статистических данных показывает, что среднего спроса можно считать условно однородным на временных интервалах протяженностью 1 – 3 месяца. Значения исходных параметров модели не изменяются в течение заданного периода моделирования.

Дополнительно отметим, что на основании анализа исходных статистических данных, проводимого экспертом, выявляется закон распределения спроса, который в имитационной модели может быть задан в аналитической форме, например: равномерный, треугольный, нормальный, Пуассона, или в виде таблицы, содержащей эмпирический ряд распределения случайной величины спроса.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ БЛОКА «СКЛАД»

В имитационной модели управления запасами оптового предприятия блок Склад (Рис. 1) имитирует текущее состояние складских запасов в каждый момент модельного времени. Транзакты, генерируемые блоками Покупатель и Менеджер закупок, проходят через блок Склад, уменьшая или увеличивая текущее состояние складского запаса соответственно.

1) *Параметр «Начальный остаток»* определяет уровень складского запаса на момент начала моделирования. Если эксперименты с моделью проводятся с целью оптимизации существующей на предприятии системы управления и/или нормирования складского запаса, то значением параметра «Начальный остаток» может быть выбрано нормативное значение максимального складского запаса.

2) *Параметр «Емкость (вместимость) склада»* определяет максимально возможный уровень складского запаса.

3) *Параметр «Текущий складской запас»* является системным параметром блока Склад и не настраивается пользователем. В терминологии систем имитационного моделирования GPSS [1], AnyLogic [6] и др. этот параметр называется системным числовым атрибутом (СЧА), т.е. его значения в процессе моделирования регистрируются автоматически в каждый момент модельного времени.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ БЛОКА «МЕНЕДЖЕР ЗАКУПОК»

Блок «Менеджер закупок» в имитационной модели фактически реализует действующую на предприятии модель управления запасами. В нашем примере рассматривается наиболее распространенный на практике тип модели управления запасами — модель с двумя уровнями («минимум-максимум») [10]. Таким образом, функцией «Менеджера закупок» является проверка с заданной периодичностью уровня складского запаса на выполнение следующего условия. Если уровень текущего запаса меньше или равен значению параметра «Точка заказа», то размещается новый заказ Поставщику, размер которого равен разности максимального и текущего (с учетом товара в пути) уровней запаса; в противном случае заказ не размещается. Параметры блока «Менеджер закупок»:

1) *Параметр «Периодичность проверки»* складского запаса отражает успеш-

Таблица 1

Статистика ежемесячного среднего спроса d_{ij} за 3 года

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Год												
2007 (d_{1j})	3570	2609	2393	2674	1747	2420	3072	1717	2067	2687	5122	6281
2008 (d_{2j})	4083	4089	2406	2523	2129	1758	1891	2620	2958	3983	5147	4853
2009 (d_{3j})	1378	1712	2069	2156	1110	576	805	1064	1277	2070	3112	2940
Min (d_j)	1378	1712	2069	2156	1110	576	805	1064	1277	2070	3112	2940
Max (d_j)	4083	4089	2406	2674	2129	2420	3072	2620	2958	3983	5147	6281
\bar{d}	3010	2803	2289	2451	1662	1585	1923	1800	2101	2913	4460	4691
σ_d	1173	980	156	218	420	763	926	638	687	797	953	1369
$(\bar{d} - \sigma_d)$	1837	1823	2133	2234	1242	822	997	1162	1414	2116	3507	3323
$(\bar{d} + \sigma_d)$	4184	3783	2445	2669	2082	2347	2849	2438	2787	3711	5414	6060

твующую на предприятии практику контроля уровня запасов. В имитационной модели блок «Менеджер закупок» с заданной этим параметром периодичностью (например, 5 дней) генерирует транзакт, несущий смысловую нагрузку «гипотетический заказ поставщику». Этот транзакт в случае выполнения условия проверки складского остатка проследует в блок Поставщик, имитируя заказ товара у поставщика, а затем в блок Склад.

2) Параметр «Максимальный запас» задает нормативное значение максимального уровня складского запаса. Для расчета исходного значения этого параметра используется формула (2)

$$M = Z + \bar{d} (L + T), \quad (2)$$

где M — максимальный запас; Z — страховой запас; \bar{d} — среднесуточный расход; $(L + T)$ — общее время средней длительности доставки товара L и периодичности проверок T .

В силу наличия неопределенности аналитически вычислить «страховой запас» представляется задачей неоднозначной. При проведении имитационных экспериментов значение параметра «Максимальный запас» варьируется и таким способом находится его оптимальное значение для заданных условий функционирования модели и критерия оптимальности.

3) Параметр «Точка заказа» задает уровень складского остатка (запаса), при достижении которого следует разместить новый заказ Поставщику, чтобы не допустить товарного дефицита. Значение этого параметра может варьироваться с целью его оптимизации в ходе проведения имитационных экспериментов.

Исходные значения параметров блоков «Менеджер продаж» и «Поставщик» (Рис. 1) определяются аналогичным образом с использованием изложенных выше подходов.

Реализация имитационной модели включает в себя: создание программного модуля, способного имитировать работу моделируемой системы в соответствии с заданной схемой ИМ, и дальнейшее проведение экспериментов с этим программным модулем. Для создания такого программного модуля необходимо использовать специализированное программное средство, реализующее возможность разработки имитационных моделей. Среди многообразия существующих в настоящее время программных средств имитационного моделирования: GPSS, Matlab, PiLogic, Simulink, AnyLogic и др. наиболее распространенным, по мнению многих специалистов, и доступным, с точки зрения наличия в свободном доступе и возможности освоения, является универсальный язык моделирования GPSS World [1, 11]. В качестве примера приводится фрагмент программного модуля, разработанного на языке GPSS World (Рис. 3).

```
***** ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ *****
Initial x$Zapas,650 ;определение начального остатка запаса
Setat Matrix ,60,1 ;определение начальных остатков
Dem Variable uniform(1,30,50)\1;определение среднего спроса
;равномерное распределение в инт.[30,50]

***** БЛОК ПОКУПАТЕЛЬ *****
Generate 1,,60 ;каждый единицу модельного времени (1 день)
;появляется заказ покупателя;
;60 дней моделирования
Assign 1,v$Demand ;параметр 1 транзакта=среднедневному спросу
Savevalue Dem+,1 ;счетчик дней моделирования

***** БЛОК МЕНЕДЖЕР ПРОДАЖ *****
Test LE pi,x$Zapas,NetTv ;проверка текущего уровня запаса
;уменьшение k-ва запаса на складе
Savevalue Zapas-,pi ;на величину среднего спроса

;выход текущего остатка по дням
Osetv Terminate 1 ;заказ покупателя выполнен
;заказ не выполнен
;заказ не выполнен (полностью или частично)
Start 60
```

Рис. 3.

Фрагмент ИМ управления запасами на языке GPSS World

В ходе проведения экспериментов с моделью отслеживаем динамику изменения складского остатка, размещения заказов поставщику, товаров в пути (Рис. 4). Варьируя исходные значе-

ния параметров (максимальный запас, точка заказа, распределение спроса и времени поставки), находим минимальное значение страхового запаса при условии бездефицитного удовлетворения спроса. Результаты экспериментов могут использоваться при планировании поставок, движения денежных средств и т.д.

В заключении отметим, что устойчивое развитие средств имитационного моделирования в направлении типизации различных функциональных блоков, создания и расширения биб-

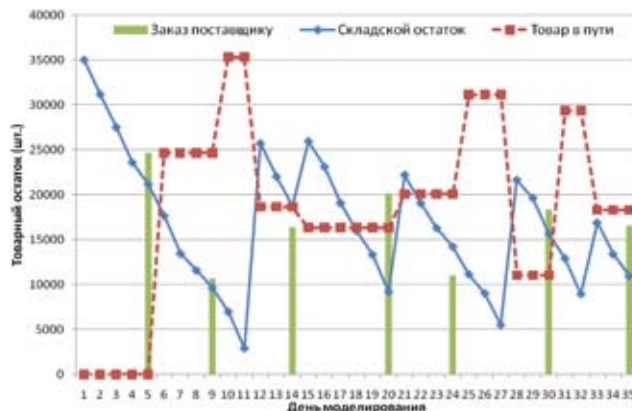


Рис. 4.

Результаты имитационного эксперимента

лиотек типовых блоков позволяет надеяться на распространение методов имитационного моделирования в широком кругу специалистов, не имеющих навыков программирования. Это в полной мере относится к решению задач управления запасами.

Автор выражает глубокую признательность Девяткову В.В., кандидату технических наук, директору ООО «Элина-Компьютер» (г. Казань) за оказанную помощь при создании программного модуля имитационной модели управления запасами на языке GPSS World.

Библиографический список:

- Боев В. Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. — СПб. : «ВНУ», 2004. — 368 с.
- Васильков Ю.В., Василькова Н.Н. Компьютерные технологии вычислений в математическом моделировании: Учеб. пособие. — М. : Финансы и статистика, 1999. — 256 с.
- Зайковская Г.Г. Решение проблемы оптимизации товарного запаса на предприятиях оптовой торговли с применением методов имитационного моделирования // Логистика. — № 4.—2010. — С. 18—20.
- Зайковская Г.Г. Управление товарным запасом оптового предприятия в условиях неопределенности с использованием методов имитационного моделирования // Логистика и управление цепями поставок. — № 1.— 2011. — С. 87—90.
- Канке А.А. Основы логистики: учебное пособие/ А.А. Канке, И.П. Кошечкина. — М. : КНОРУС, 2010. — 576 с.
- Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. — СПб. : БХВ—Петербург, 2005. — 400 с.
- Кобелев Н.Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем. — М. : Дело, 2003. —336 с.
- Леоненков А.В. Самоучитель UML. — СПб. : БХВ—Петербург, 2001. — 304 с.
- Р 50.1.028—2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. — М. : Госстандарт России.
- Стерлигова А.Н. Управление запасами в цепях поставок: Учебник. — М. : ИНФРА-М, 2008. — 430 с.
- <http://www.gpss.ru> // Специализированный веб-сайт, посвященный имитационному моделированию систем.