

# Экономика, организация и менеджмент на предприятии

УДК 658.7:338.24

## Моделирование работы системы снабжения промышленного предприятия при заданном уровне надежности

**М.Н. Захаров, П.А. Николаев**

*Высокотехнологичное производство требует высоконадежных систем обеспечения материальными ресурсами. Выбрать параметры системы, обеспечивающие заданную надежность, можно на основе моделирования с учетом случайного характера производственного процесса. Разработанная методика оценки надежности, основанная на методе Монте-Карло, позволяет построить область допустимых параметров системы. По сравнению с детерминированными методами методом Монте-Карло можно получать решения достаточно высокой точности при низких вычислительных затратах.*

*В статье предложена модель системы снабжения предприятия, состоящая из следующих элементов: модели процесса обеспечения материалами производства на основании поступающих заявок, модели принятия решения о заказе материалов у поставщиков и модели пополнения запасов материалов поставщиками. Основное внимание уделено двум аспектам — моделированию потока заявок на материалы со стороны производства и построению области допустимых параметров стратегии управления запасами с целью обеспечения заданного уровня надежности процесса материально-технического обеспечения.*

*Данная модель будет полезна для производств, на которых остановка производственного цикла ввиду отсутствия материалов недопустима или способна привести к значительным финансовым потерям. В частности это актуально для предприятий энергетики, оборонной промышленности и здравоохранения.*



**ЗАХАРОВ**  
Михаил Николаевич  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**ZAKHAROV**  
Mikhail Nikolaevich  
(Moscow, Russian Federation,  
Bauman Moscow State  
Technical University)



**НИКОЛАЕВ**  
Петр Александрович  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**NIKOLAEV**  
Petr Aleksandrovich  
(Moscow, Russian Federation,  
Bauman Moscow State  
Technical University)

**Ключевые слова:** системы обеспечения материальными ресурсами, управление запасами, метод Монте-Карло, материально-техническое обеспечение, система снабжения предприятия, моделирование бизнес-процессов.

## Modeling of the supply system of industrial enterprises at a given level of reliability

**M.N. Zakharov, P.A. Nikolaev**

*High-tech production requires highly reliable systems to provide material resources. The system parameters ensuring the prescribed reliability can be determined by mathematical modeling taking into account the random nature of the production process. In this paper, a method for estimating the reliability of the system is presented. The developed technique is based on the Monte Carlo method and makes it possible to build the area of feasible parameters of the system. Unlike deterministic methods, the Monte Carlo method enables high accuracy solutions at low computational costs. The paper proposed a model of the enterprise supply system consisting of the following elements: a material supply model taking into account incoming requests, a decision-making model for ordering materials from suppliers, and a model of materials re-supply by suppliers. The main attention is paid to the following two aspects: modeling of the flow of material requests from industry and construction of the area of feasible parameters of an inventory management strategy to ensure a given reliability level of logistics support. This model will be useful for industries where the production cycle cannot be interrupted because of the lack of materials since it could cause significant financial losses. In particular, it is important for energy companies, defense industry and health care.*

**Keywords:** material resources, inventory management, Monte Carlo method, logistics support, enterprise supply system.

В настоящее время существует тенденция к снижению издержек производства продукции на промышленных предприятиях путем уменьшения объема запасов материалов. Что-

бы эти меры не привели к ухудшению надежности материально-технического снабжения предприятия снижение издержек должно компенсироваться повышением качества управления запасами.

Запасы играют важную роль на предприятии, поскольку выполняют несколько функций:

- являются буфером между элементами цепочки поставок;
- обеспечивают экономию на масштабе;
- защищают от колебаний спроса и предложения.

Роль запасов в качестве буфера между элементами цепочек поставок позволяет снизить влияние разности во времени факта возникновения потребности в материалах на производстве и факта поставки материалов. Ввиду этого необходимо иметь промежуточное звено в логистической цепочке, которое бы обеспечивало ресурсами потребителя в нужное для него время, а не тогда, когда поставщик способен это сделать.

Экономия на масштабе поставок материалов осуществляется за счет возможности заказывать материалы реже, но большими партиями, что позволяет снизить издержки на фактах заказов. При заказе больших партий можно добиться снижения цены за единицу материалов. В основном это достигается за счет снижения постоянных издержек транспортировки: доставка материалов одного и того же количества обходится дешевле, если производится в один рейс.

Защита от колебаний предложения материалов основана на закупке материалов в сезоны с низкими ценами на них, в то время как защита от колебаний спроса на готовую продукцию состоит в обеспечении хранения материалов, невостребованных производством вследствие снижения текущей потребности в продукции предприятия со стороны потребителей.

В запасах заключена значительная доля капитала предприятия и неэффективное обращение с ними ведет к убыткам фирмы [1, 2]. По этой причине предприятие должно проводить политику управления запасами.

Управление запасами материалов подразумевает следующие действия [3]:

- заказ материалов;

- получение материалов;
- хранение;
- отправка в производство.

Схема движения потока заявок и материалов в логистической цепи материально-технического обеспечения показана на рис. 1.

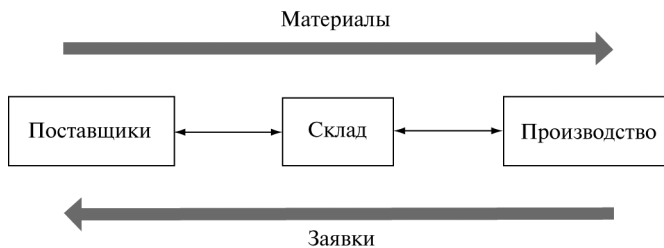


Рис. 1. Общая схема системы снабжения

Под стратегиями управления запасами в данной статье рассматривается политика пополнения запасов материалов, которая определяется менеджером и может носить как произвольный, так и строгий порядок [4, 5].

Произвольный порядок пополнения запасов подразумевает, что ответственное лицо осуществляет заказы на поставку материалов в соответствии с собственным опытом и интуицией, и правила, по которым происходят заказы, не являются четко выраженными и однозначно сформулированными. Строгий порядок пополнения запасов исходит из четких, заранее зафиксированных правил. Рассмотрим эти правила на примере модели пополнения запасов с фиксированным объемом заказа. Данная стратегия управления запасами использует следующие управляющие параметры (входные параметры системы снабжения):

- объем заказа;
- точка заказа — объем запасов материалов, при котором необходимо осуществлять заказ.

Управляемым (выходным) параметром системы снабжения является ее надежность — способность удовлетворять число заявок на материалы не ниже заданного в заданный промежуток времени [6, 7].

Поток заявок на материалы от производства в отдел снабжения может иметь детерминированный или случайный характер. Поток заявок имеет детерминированный характер, если этот поток заранее предопределен и известен отделу

снабжения. В этом случае выбор стратегии управления запасами не является серьезной проблемой.

Случайный характер потока заявок означает, что этот поток характеризуется некоторой случайной величиной ввиду сложности точного определения будущей потребности производства в материалах. Такой характер потока заявок порождает неопределенность в логистических цепях, которая в той или иной мере наблюдается в большинстве из них [8—10]. В этом случае решение задачи о выборе стратегии управления запасами должно основываться на статистических методах. Одним из наиболее простых в реализации и обеспечивающих приемлемую точность является метод Монте-Карло — статистический метод оценки некоторой величины. Для реализации этого метода необходимо иметь некоторую модель исследуемого процесса [11—14].

Предлагаемая в настоящей статье модель работы отдела снабжения состоит из следующих структурных элементов:

- потока заявок, уменьшающего размер хранящихся материалов на складе;
- правил определения точки и размера заказа;
- пополнения запасов материалов.

Поток заявок на материалы будем описывать через двумерную случайную величину:

$$\xi_i = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_j & \dots & x_n \\ p_1 & p_2 & \dots & p_j & \dots & p_n \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $x$  — значение случайной величины, описывающее событие поступления заявки на материалы в отдел снабжения;  $p$  — вероятность наступления этого события.

Событие поступления заявки на материалы в отдел снабжения описывается в виде двумерной случайной величины со следующим набором параметров:

$$x = \{T, N\}. \quad (2)$$

Здесь  $T$  — число дней, прошедших с момента поступления в отдел снабжения предыдущей заявки;  $N$  — объем требуемых производству материалов.

Форма плотности распределения двумерной случайной величины приведена в табл. 1.

Таблица 1

Форма плотности распределения вероятности двумерной случайной величины потока заявок

	$N_1$	$N_2$	...	$N_m$
$T_1$	$p_{1,1}$	$p_{1,2}$	...	$p_{1,m}$
$T_2$	$p_{2,1}$	$p_{2,2}$	...	$p_{2,m}$
...	...	...	...	...
$T_n$	$p_{n,1}$	$p_{n,2}$	...	$p_{n,m}$

Очевидно, что должно соблюдаться условие

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{i,j} = 1. \quad (3)$$

Для формирования эмпирической плотности распределения вероятности потока заявок отдел снабжения должен иметь базу заявок за некоторый период. Пример представления таких данных приведен в табл. 2.

Таблица 2

Фрагмент таблицы, содержащей данные о потоке заявок от производства

Дата заявки	Размер заявки, ед.	$\Delta T$ , дни
18.03.2012	70	—
25.03.2012	60	7
30.03.2012	45	5
31.03.2012	40	1
03.04.2012	55	3

*Примечание.*  $\Delta T$  — разница в днях между текущей и предшествующей заявками,  $\Delta T_i = D_i - D_{i-1}$ , где  $D$  — дата заявки;  $i$  — порядковый номер записи в таблице, предварительно отсортированной по дате заявки.

Из полного набора данных о потоке заявок можно определить частоту каждого набора параметров  $x = \{T, N\}$ . На основании этих частот можно найти плотность распределения вероятности потока заявок.

После обработки массива данных и нормировки получаем плотность распределения вероятности потока заявок, пример которой приведен в табл. 3.

На основании данных, представленных в табл. 3, работник отдела снабжения может сделать, например, следующий вывод: что с вероятностью 0,0394 после поступления заявки на материалы следующей заявкой от производства будет требование на материалы, которое поступит спустя 3 дня в размере 60 ед.

Плотность распределения вероятности потока заявок изображена на рис. 2.

В процессе моделирования может возникнуть ситуация, когда в определенный момент времени текущий объем запасов материалов принимает отрицательную величину (рис. 3). Абсолютное значение этой величины обозначает то количество материалов, в котором производство нуждается в данный момент, но не может получить со склада в виду их отсутствия.

В качестве правил определения точки заказа использовался метод фиксированного объема заказа.

В рассматриваемой модели принималось, что пополнение запасов происходит спустя 3 дня после заказа материалов у поставщиков.

Таблица 3

Пример плотности распределения вероятности потока заявок

$\Delta T$ , дни	Размер заявки, ед.									
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
1	0,0128	0,0256	0,0320	0,0213	0,0107	0,0043	0,0021	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0107	0,0213	0,0341	0,0277	0,0128	0,0085	0,0043	0,0021	0,0021	0,0000
3	0,0064	0,0171	0,0341	0,0299	0,0213	0,0149	0,0064	0,0021	0,0021	0,0000
4	0,0021	0,0107	0,0256	0,0277	0,0256	0,0171	0,0085	0,0021	0,0021	0,0000
5	0,0021	0,0043	0,0128	0,0192	0,0235	0,0213	0,0128	0,0043	0,0021	0,0000
6	0,0000	0,0000	0,0107	0,0149	0,0213	0,0192	0,0149	0,0043	0,0043	0,0000
7	0,0000	0,0000	0,0043	0,0107	0,0171	0,0149	0,0171	0,0064	0,0064	0,0000
8	0,0000	0,0000	0,0000	0,0021	0,0107	0,0128	0,0192	0,0085	0,0064	0,0000
9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000



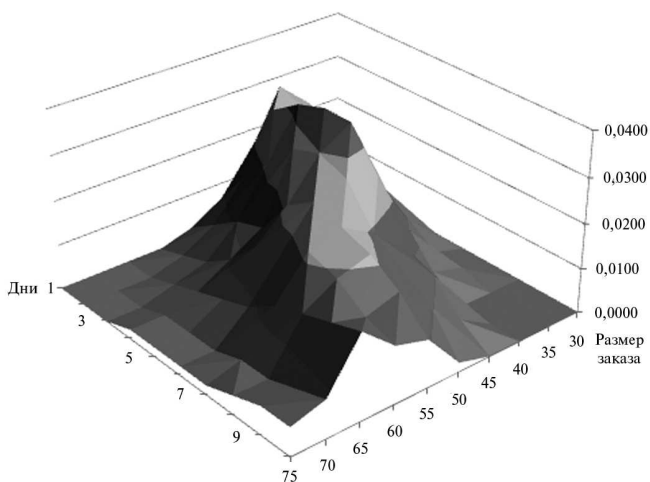


Рис. 2. Плотность распределения вероятности потока заявок

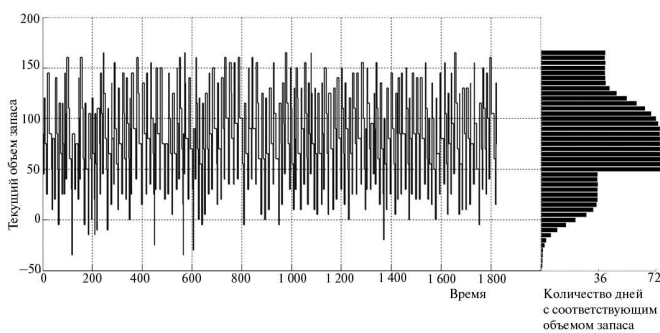


Рис. 3. Изменение объема запаса материалов в течении времени и его плотность распределения вероятности

Метод Монте-Карло предполагает многократное моделирование процесса управления запасами с целью получения различных вариантов зависимости текущего объема запасов материалов от времени при заданных параметрах стратегии управления запасами: точки заказа и объема заказа. Следует отметить, что в данной модели многократное моделирование эквивалентно однократному моделированию на длительном интервале времени.

Моделирование на длительном интервале времени при точке заказа 50 ед., объеме заказа 120 ед. и периоде моделирования 18 270 000 дней (50 000 лет) дает следующие результаты:

- дней с дефицитом — 395 602;
- надежность (дней с дефицитом / период моделирования) — 97,8323%.

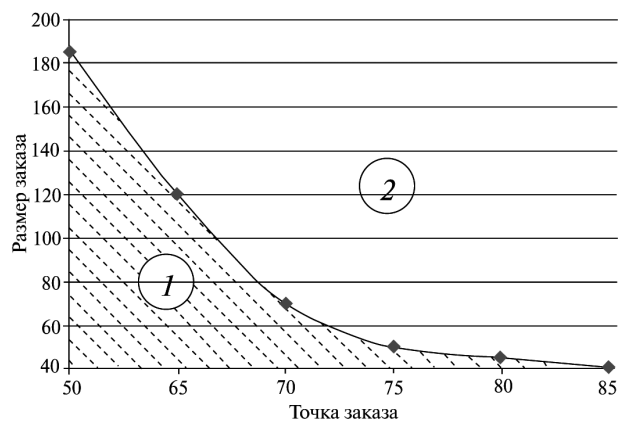


Рис. 4. Область допустимых параметров системы снабжения при заданной надежности:

1 — ниже 99,5%; 2 — выше 99,5%

Многократный запуск модели позволяет построить области допустимых параметров системы снабжения, обеспечивающих надежность не ниже 99,5% (рис. 4).

С помощью данной модели можно найти первое приближение к решению задачи об эффективности параметров системы снабжения. Эта модель может быть расширена за счет учета особенностей для конкретного производства или отрасли в процессе получения заявок на материалы в отдел снабжения, стратегии выбора момента заказа материалов и логистической цепочки движения материалов от поставщика к целевому предприятию.

## Литература

- [1] Ivanov D., Sokolov B. *Adaptive Supply Chain Management*. London, Springer, 2010, 269 p.
- [2] Стерлигова А.Н. *Управление запасами в цепях поставок*. Москва, ИНФРА-М, 2008, 428 с.
- [3] Stock James R., Lambert Douglas M. *Strategic Logistics Management*. McGraw-Hill Education, 2001, 872 p.
- [4] Donald J. Bowersox. *Logistical Management*. McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2000, 730 p.
- [5] Бродецкий Г.Л. *Управление запасами. Полный курс MBA*. Москва, Эксмо, 2008, 352 с.
- [6] Mahnam M., Yadollahpour M.R., Famil-Dardashti V., Hejazi S.R. Mehdi Mahnam. Supply chain modeling in uncertain environment with bi-objective approach. *Computers & Industrial Engineering*. 2009, vol. 56, issue 4, pp. 1535—1544.
- [7] Hans-Peter Wlendl, Gregor von Cleminskf, Carsten Begemann. A Systematic Approach for Ensuring the Logistic Process Reliability of Supply Chains. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 2003, vol. 52, issue 1, pp. 375—380.
- [8] Ulf Merschmann, Ulrich W. Thonemann. Supply chain flexibility, uncertainty and firm performance: An empirical analysis of German manufacturing firms. *International Journal of Production Economics*, 2011, vol. 130, issue 1, pp. 43—53.

[9] Kee-Hung Lai, T. C. Edwin Cheng. *Just-In-Time Logistics*. Gower Publishing Ltd., 2009, 190 p.

[10] Бродетский Г.Л., Гусев Д.А., Елин Е.А. *Управление рисками в логистике*. Москва, Академия, 2010, 192 с.

[11] Iddrisu Awudu, Jun Zhang. Uncertainties and sustainability concepts in biofuel supply chain management: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, vol. 16, issue 2, February, pp. 1359–1368.

[12] Iddrisu Awudu, Jun Zhang. Stochastic production planning for a biofuel supply chain under demand and price uncertainties. *Applied Energy*, 2013, vol. 103, pp. 189–196.

[13] Hung-Chang Liao, Hsu-Hwa Chang. The optimal approach for parameter settings based on adjustable contracting capacity for the hospital supply chain logistics system. *Expert Systems with Applications*, 2011, vol. 38, issue 5, pp. 4790–4797.

[14] Mohammadi Bidhandi H., Mohd Yusuff R. Integrated supply chain planning under uncertainty using an improved stochastic approach. *Applied Mathematical Modelling*, 2011, vol. 35, issue 6, pp. 2618–2630.

## References

[1] Ivanov D., Sokolov B. *Adaptive Supply Chain Management*. London, Springer, 2010. 269 p.

[2] Sterligova A.N. *Upravlenie zapasami v tsepiakh postavok* [Inventory management in supply chains]. Moscow, INFRA-M publ., 2008. 428 p.

[3] Stock James R., Lambert Douglas M. *Strategic Logistics Management*. McGraw-Hill Education, 2001. 872 p.

[4] Donald J. Bowersox. *Logistical Management*. McGraw-Hill Education (India) Pvt Limited, 2000. 730 p.

[5] Brodetskii G.L. *Upravlenie zapasami. Polnyi kurs MBA* [Inventory Management. MBA Full Course]. Moscow, Eksmo publ., 2008. 352 p.

[6] Mahnam M., Yadollahpour M.R., Famil-Dardashti V., Hejazi S.R. Supply chain modeling in uncertain environment with bi-objective

approach. *Computers & Industrial Engineering*, 2009, vol. 56, issue 4, pp. 1535–1544.

[7] Wiendahl H.-P., Von Cieminski G., Begemann C. A Systematic Approach for Ensuring the Logistic Process Reliability of Supply Chains. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 2003, vol. 52, issue 1, pp. 375–380.

[8] Merschmann, U., Thonemann, U.W. Supply chain flexibility, uncertainty and firm performance: An empirical analysis of German manufacturing firms. *International Journal of Production Economics*, 2011, vol. 130, issue 1, pp. 43–53.

[9] Kee-Hung Lai, T. C. Edwin Cheng. *Just-In-Time Logistics*. Gower Publishing Ltd., 2009. 190 p.

[10] Brodetskii G.L., Gusev D.A., Elin E.A. *Upravlenie riskami v logistike* [Risk management in logistics]. Moscow, Akademiia publ., 2010. 192 p.

[11] Awudu I., Zhang J. Uncertainties and sustainability concepts in biofuel supply chain management: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, vol. 16, issue 2, pp. 1359–1368.

[12] Awudu I., Zhang J. Stochastic production planning for a biofuel supply chain under demand and price uncertainties. *Applied Energy*, 2013, vol. 103, pp. 189–196.

[13] Liao H.-C., Chang H.-H. The optimal approach for parameter settings based on adjustable contracting capacity for the hospital supply chain logistics system. *Expert Systems with Applications*, 2011, vol. 38, issue 5, pp. 4790–4797.

[14] Mohammadi Bidhandi H., Mohd Yusuff R. Integrated supply chain planning under uncertainty using an improved stochastic approach. *Applied Mathematical Modelling*, 2011, vol. 35, issue 6, pp. 2618–2630.

Статья поступила в редакцию 25.06.2013

## Информация об авторах

**ЗАХАРОВ Михаил Николаевич** (Москва) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Основы конструирования машин». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**НИКОЛАЕВ Петр Александрович** (Москва) — аспирант кафедры «Промышленная логистика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: nikolaev\_petr@inbox.ru).

## Information about the authors

**ZAKHAROV Mikhail Nikolaevich** (Moscow) — Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of «Fundamentals of Machine Design» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation).

**NIKOLAEV Petr Aleksandrovich** (Moscow) — Post-Graduate of «Industrial Logistics» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: nikolaev\_petr@inbox.ru).