

## Подходы к построению вероятностных моделей процессов системы снабжения промышленного предприятия с целью оценки ее надежности

© П.А. Николаев

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены методы построения вероятностных моделей процессов системы снабжения. Внимание уделено работе с информацией о функционировании существующей системы снабжения и ее актуализации с учетом совершенствования логистических процессов. Раскрыты методы учета актуальности или полноты располагаемых данных, описаны нетипичные ситуации, возникающие в системах снабжения.*

**Ключевые слова:** надежность, снабжение, материально-техническое обеспечение, организация производства, статистические методы, метод Монте-Карло.

Снижение издержек процесса материально-технического снабжения позволяет значительно повысить доход предприятия. При этом оптимизацию процесса снабжения необходимо проводить с учетом обеспечения определенного уровня его надежности. Под надежностью системы снабжения понимается вероятность поставки требуемого количества материалов оговоренного качества к определенному моменту времени на производство. [1] Это означает, что для расчета надежности следует использовать вероятностные методы. Достаточно точным методом оценки надежности считается метод детализация модели системы снабжения до моделирования времени выполнения составляющих ее процессов. В случае использования этого метода необходимо строить вероятностные модели этих процессов.

Поскольку с помощью определенных допущений задачу оценки надежности поставки материалов на предприятие можно свести к оценке вероятности реализации значений допустимого времени выполнения поставки, то для расчета надежности системы снабжения необходимо подготовить вероятностные модели рассматриваемых процессов в виде оценок плотности распределения вероятности времени их выполнения. Для этого необходимо использовать конкретные числовые данные, полученные в ходе работы рассматриваемой системы снабжения или аналогичных систем. Входной информацией для построения оценки плотности распределения вероятности является база данных, в которой содержится история исполнения процессов, составляющих систему снабжения (табл. 1).

**Пример истории исполнения процесса транспортировки  
в предыдущих заказах**

№ п/п	Дата начала процесса	Дата окончания процесса	Время выполнения, дни
1	10.01.12	14.01.12	4
2	31.01.12	05.02.12	5
3	20.02.12	25.02.12	5
4	10.03.12	16.03.12	6
5	03.04.12	06.04.12	3
6	28.04.12	02.05.12	4
7	20.05.12	26.05.12	6
8	12.06.12	19.06.12	7
9	01.07.12	05.07.12	4
10	21.07.12	26.07.12	5
11	13.08.12	19.08.12	6
12	03.09.12	08.09.12	5

Группируя историю исполнения по времени выполнения, получаем частоты реализации значений и оценку плотности распределения вероятностей времени выполнения рассматриваемого процесса. Результаты этой операции отражены в табл. 2 и на рис. 1.

Таблица 2

**Частоты значений времени выполнения процесса транспортировки**

Время выполнения, дни	Число записей с заданной длительностью	Частота реализации
3	1	0,0833
4	3	0,2500
5	4	0,3333
6	3	0,2500
7	1	0,0833

Расчет частот проводят по формуле

$$W_i = \frac{m_i}{\sum_{j=1}^N m_j},$$

где  $W$  — относительная частота  $i$ -го времени выполнения рассматриваемого процесса;  $i$  — идентификатор уникального значения времени

выполнения рассматриваемого процесса;  $t$  — число событий, соответствующих  $i$ -му времени;  $N$  — число значений, принимаемых случайной величиной.

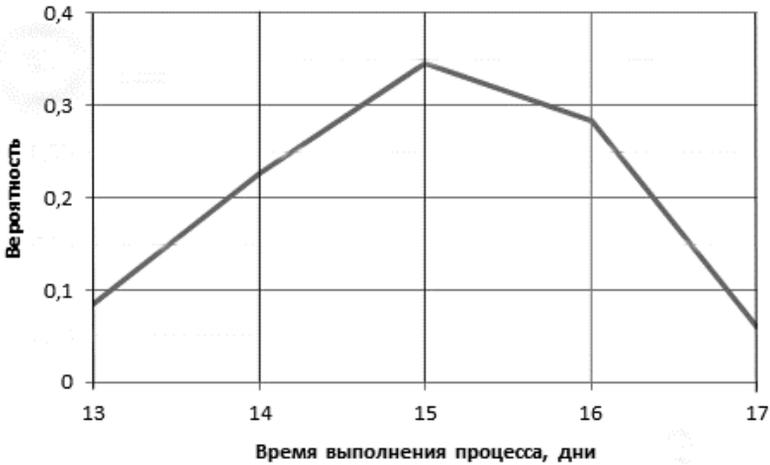


Рис. 1. Оценка плотности распределения вероятности времени выполнения процесса транспортировки

При построении оценки плотности распределения вероятностей времени выполнения рассматриваемого процесса следует принять частоты за вероятности реализации значений случайной величины. В рассматриваемом примере случайная величина задается матрицей вида

$$\xi = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 0,0833 & 0,250 & 0,333 & 0,250 & 0,0833 \end{pmatrix}.$$

Следует учитывать, что данные о выполнении процесса транспортировки за несколько последних циклов снабжения лучше отражают текущее положение дел на предприятии, чем циклы, которые произошли давно. Это связано с модификацией логистической цепи ввиду внешних или внутренних факторов, которые так или иначе имеют место в экономической среде, подверженной постоянным изменениям. Под внутренними факторами в данном случае понимаются целенаправленные структурные изменения в работе службы снабжения, результатом которых может быть как повышение надежности процесса снабжения, так и ее снижение. Примером внутреннего фактора повышения надежности является обнаружение и устранение неэффективных процессов. Очевидно, что логистические циклы после устранения причин, вызывающих перебои в снабжении, будут иметь больше общего, чем два логистических цикла до и после устранения. Под внешними факторами понимаются изменения среды, в которой работает предприятие в целом и служба снабжения в частности. В качестве примера таких факторов

можно привести смену поставщиков. Чтобы учесть изменения или тенденции в системе снабжения при формировании оценки плотности распределения, можно использовать метод весовых коэффициентов. Для этого каждой записи из истории выполнения процессов необходимо назначить весовой коэффициент (табл. 3).

Таблица 3

**Пример назначения записям весовых коэффициентов**

№ п/п	Дата начала процесса	Дата окончания процесса	Время выполнения, дни	Весовой коэффициент $K$
1	10.01.2013	25.01.2013	17	0,75
2	09.02.2013	23.02.2013	14	0,83
3	13.03.2013	29.03.2013	15	0,91
4	12.04.2013	27.04.2013	16	0,99
5	09.05.2013	22.05.2013	15	1,07
6	08.06.2013	22.06.2013	14	1,15
7	10.07.2013	26.07.2013	16	1,23
8	09.08.2013	24.08.2013	15	1,31
9	08.09.2013	25.09.2013	13	1,39
10	11.10.2013	25.10.2013	14	1,47
11	10.11.2013	25.11.2013	16	1,55
12	10.12.2013	26.12.2013	15	1,63

При расчете средневзвешенной частоты с помощью весовых коэффициентов используют формулу

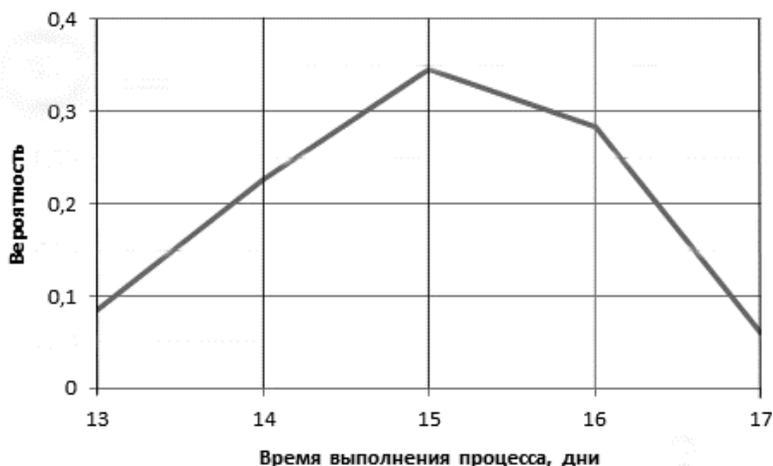
$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^m K_i}{\sum_{j=1}^n K_j},$$

где  $K$  — весовой коэффициент;  $m$  — число записей с одинаковым значением времени выполнения процесса;  $n$  — общее число записей на рассматриваемом промежутке времени.

Результат расчета частот приведен ниже:

Длительность цикла снабжения, дни .....	13	14	15	16	17
Частота .....	0,0847	0,2265	0,3461	0,2829	0,0598

На рис. 2 приведена оценка плотности распределения вероятностей времени выполнения рассматриваемого процесса с учетом весовых коэффициентов.



**Рис. 2.** Оценка плотности распределения вероятности времени выполнения процесса транспортировки с учетом весовых коэффициентов

Метод весовых коэффициентов можно применять при использовании данных сторонних предприятий этой же отрасли, например данных о работе того же поставщика с другими предприятиями. Весовые коэффициенты помогут расширить информацию о работе службы снабжения, если их использовать для адаптации данных, описывающих функционирование служб снабжения сторонних предприятий и других работающих в этой же отрасли поставщиков.

Метод весовых коэффициентов позволяет учитывать циклы снабжения с необычным временем выполнения, под которым чаще всего понимают сильно завышенное или сильно заниженное время выполнения заказа [2]. Завышенное время выполнения заказа может быть вызвано административными (приостановка деятельности поставщика в рамках наложения на него санкций, предусмотренных договором государственно-частного партнерства [3]), организационными (поставщик может забыть о заказе и отгрузить его только после напоминания) и другими причинами. Необычно короткое время выполнения может быть обусловлено, например, случайным стечением обстоятельств: наличием у поставщика свободной партии материалов рядом с потребителем в момент поступления заказа на них, форсированием по ряду причин одного из этапов производственного цикла и т. д. Например, если поставщику обычно требуется значительное время на подготовку материалов к отправке, то форсирование возможно в случае, если поставщик уже подготовил материалы для других предприятий, которые сообщили ему об отмене заказа.

С одной стороны, подобные случаи являются единичными и можно с большой вероятностью ожидать, что аналогичные обстоятельства больше не возникнут, с другой — необычное время выполнения заказа может повториться уже по совершенно другим причинам, а значит, такие факты следует включать в историю, на основе которой строят оценки плотностей распределения.

Необычное время выполнения заказа учитывают путем назначения соответствующим записям истории работы системы снабжения низких весовых коэффициентов. Пример учета необычного времени выполнения рассматриваемого процесса с помощью весовых коэффициентов приведен на рис. 3.



**Рис. 3.** Весовые коэффициенты, учитывающие необычное время выполнения процесса снабжения

Допустимо использовать историю из нескольких источников, например таких, как собственные источники; сторонние организации; спецификации; данные статистических ведомств, специализированных служб и маркетинговых организаций.

Собственные источники могут быть задействованы при анализе времени выполнения процессов, проходящих внутри компании, например процесса определения потребностей производства в материалах. Соседние отделы могут иметь подобную структуру и подобные принципы работы. Данные от сторонних организаций могут быть полезны при анализе работы поставщиков. Спецификации могут помочь при определении времени операций автоматической разгрузки. Спецификации на транспортные средства позволят определить количество транспортных средств, задействованных в перевозке. Исходя из данных по надежности этих транспортных средств можно получить оценку плотности распределения вероятности времени доставки материалов. Специализированная служба может предоставить данные по морским перевозкам. Эти данные позволят спрогнозировать время транспорти-

ровки соответствующим видом транспорта на основании собранной статистики.

Ввиду того что те или иные источники могут являться более или менее достоверными, полными или их данные могут более или менее точно описывать моделируемую систему, для учета этих факторов можно использовать весовые коэффициенты для усиления влияния более адекватных данных и ослабления влияния менее адекватных. Данные по рассматриваемому предприятию могут быть более адекватны, чем данные сторонних предприятий, если они описывают исследуемую систему снабжения, работающую в устоявшемся режиме, и менее адекватны, если с момента начала работы исследуемая система еще не успела собрать достаточную статистику о собственном функционировании. Данные о времени транспортировки от поставщика могут быть более предпочтительны, чем данные специализированных служб, поскольку описывают конкретную работу логистической системы, организованной поставщиком.

Предложенные модели процессов позволяют проводить расчет надежности с помощью метода Монте-Карло. Для некоторых сложных моделей систем снабжения этот метод является единственной возможностью получения достаточно точной оценки надежности за приемлемое время. Рассмотренные модели процессов не описывают исключительно идеальные условия. Они учитывают информацию о различных явлениях, оказывающих влияние на время выполнения заказа, например о форс-мажорных обстоятельствах или взаимозависимостях в многономенклатурных поставках материалов. Поэтому применение метода Монте-Карло даст оценку надежности системы снабжения, учитывающую реальные условия, в которых функционирует предприятие.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Омельченко И.Н. *Методология, методы и модели системы управления организационно-экономической устойчивостью наукоемкого производства интегрированных структур*. Колобов А.А., ред. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005, 240 с.
- [2] Шрайбфедер Д. *Эффективное управление запасами*. 2-е изд. Москва, Альпина Бизнес Букс, 2006, 304 с.
- [3] Клименко В.В. Взаимодействие государства и бизнеса при формировании объектов логистической инфраструктуры. *Логистика сегодня*, 2012, 01 (49), с. 12–20.

Статья поступила в редакцию 22.07.2014

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Николаев П.А. Подходы к построению вероятностных моделей процессов системы снабжения промышленного предприятия с целью ее надежности. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, вып. 8.  
URL: <http://engjournal.ru/catalog/indust/hidden/1296.html>

**Николаев Петр Александрович** родился в 1987 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2011 г. Аспирант кафедры «Промышленная логистика» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: надежность производственных процессов.  
e-mail: nikolaev\_petr@inbox.ru

## Approaches to constructing probabilistic models of industrial supply system processes in order to assess its reliability

© P.A. Nikolaev

Bauman Moscow State Technical University, Moscow 105005, Russia

*Due to the high cost of downtime, high-tech production requires highly reliable material supply. Calculation of supply system reliability should consider non-deterministic phenomenon occurring in material-technical process. The most reliable information about these phenomena is the statistics of the processes that make up the system. It is necessary to consider the relevance and the lack of information available, when constructing probabilistic models of the processes involved in the calculation of reliability, which is based on the probable model of the supply system,.*

*The article considers methods of constructing probabilistic models of supply system processes with account of the above-mentioned shortcomings in the available data. Attention is paid to the work with information on functioning of the existing procurement system and its updating due to improving logistics processes. These methods will be useful for companies which lack an analytical solution of the problem of estimating the supply system reliability, but for the constituent processes of this system there is information about their functioning.*

**Keywords:** reliability, supply, logistic support, organization of production, statistics approaches, Monte Carlo method.

### REFERENCES

- [1] Omel'chenko I.N. *Metodologiya, metody i modeli sistemy upravleniya organizatsionno-ekonomicheskoi ustoichivostyu naukoemkogo proizvodstva integrirovannykh struktur* [Methodology, methods and models of managing organizational and economic stability of high-tech manufacturing integrated structures]. A.A. Kolobov, ed. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2005, 240 p.
- [2] Shraibfeder D. *Effektivnoe upravlenie zapasami* [Effective inventory management]. [in Russian], 2nd ed. Moscow, Al'pina Business Books Publ., 2006, 304 p.
- [3] Klimenko V.V. *Logistika segodnia — Logistics today*, 2012, no. 01 (49), pp. 12–20.

**Nikolaev P.A.** (b. 1987) graduated from Bauman Moscow State Technical University in 2011. A post-graduate of the Industrial Logistics Department at Bauman Moscow State Technical University. He has four publications on reliability of production processes.  
e-mail: nikolaev\_petr@inbox.ru