

УДК 004.942 + 519.872

## МЕТОДИКА АНАЛИЗА, ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СКЛАДСКОГО ЛОГИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

<sup>1</sup>Башарина О.Ю., <sup>2</sup>Носков С.И.

<sup>1</sup>*Иркутский государственный университет, Иркутск, e-mail: basharinaolga@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, e-mail: noskov\_s@irgups.ru*

Рассматривается методика решения задач складской логистики с использованием инструментов системного анализа. Данная методика основана на интегрированном применении аналитического и имитационного моделирования. Она позволяет более детально анализировать деятельность логистического складского комплекса в динамике и использовать дополнительные средства моделирования процессов его функционирования, не представленные в системах управления складскими комплексами ERP и WMS классов. Рассматриваемая методика включает в себя следующие этапы: построение концептуальной модели и постановка задачи; формализация задачи; построение имитационной модели; планирование вычислительного эксперимента; проведение эксперимента; интерпретация результатов моделирования. Для проведения многовариантных расчетов предлагается использование распределенной вычислительной среды. Значительное снижение трудозатрат при решении задач оценки функционирования складского комплекса с помощью данной методики позволяет сделать вывод об ее эффективности для рассмотренного класса задач.

**Ключевые слова:** складская логистика, системный анализ, моделирование

## METHODOLOGY OF ANALYSIS, ESTIMATION AND FORECASTING OF MAIN INDICATORS DYNAMIC IN WAREHOUSE LOGISTIC COMPLEX

<sup>1</sup>Basharina O.Y., <sup>2</sup>Noskov S.I.

<sup>1</sup>*Irkutsk State University, Irkutsk, e-mail: basharinaolga@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Irkutsk State University of Railways Communication, Irkutsk, e-mail: noskov\_s@irgups.ru*

The methodology of solving warehouse logistic problem with the help of system analysis tools is under consideration in this article. This methodology is based on the integrated usage of analytical and imitating models. It helps to analyze in details the warehouse logistic complex in its dynamics and use additional means of modeling processes of its functioning, which are not presented in the systems of warehouse management complex ERP and WMS types. The analyzed methodology consists of several stages: forming the conceptual model and setting the objects; the formalization of objects; formation of imitating model; the planning of calculating experiment; carrying out the experiment; the interpretation of the results modeling. To perform multiversion calculation we suggest using distributive calculating environment. The significant decrease of efforts in solution the objects in estimation and warehouse complex with the help of this methodology, allows to come to conclusion about its efficiency to solve a variety of tasks.

**Keywords:** warehouse logistics, system analysis, modeling

Современные логистические складские комплексы (ЛСК) представляют собой сложно организованные хозяйственные объекты, ориентированные на управление грузопотоками большой емкости, в том числе на дистрибуцию товаров, и, вследствие этого, играют важную роль в экономической сфере деятельности. Особое внимание привлекают региональные складские комплексы, так как сегодня значительное число крупных российских производственных компаний, торговых сетей и иностранных ритейлеров выбирают расширение сбыта продукции в регионах в качестве основного направления своего развития и остро нуждаются в качественных масштабных услугах складской логистики. Тенденция развития современных ЛСК заключается в постоянном расширении множества складских операций и повышении уровня их сложности. Вследствие этого эффективное управление складом становится исключительно важной

и сложной проблемой. Чтобы справиться с неизбежным ростом числа операций и их усложнением, управление ЛСК должно базироваться на системном подходе. В этой связи важнейшими задачами складского менеджмента становятся анализ и оптимизация организационно-функциональной структуры как эксплуатируемых, так и проектируемых ЛСК.

Одним из наиболее эффективных подходов к анализу процессов функционирования экономических объектов и управления ими является математическое моделирование. К настоящему времени имеется широкий спектр экономико-математических моделей для различных отраслей производства, бизнеса и управления. Зачастую основное внимание в методах исследования экономических объектов уделяется статистическим моделям, в то время как многие важные особенности поведения таких объектов могут проявиться только в динамике.

Сложность динамической структуры современных экономических объектов, обусловленная большим количеством важных характеристик процессов их функционирования и связей между ними, требует построения согласованного семейства моделей, позволяющих проводить исследование этих объектов на разных уровнях детализации, и зачастую приводит к значительным техническим и методическим трудностям использования такого семейства моделей.

Современные системы управления складскими процессами класса WMS (Warehouse Management System) представлены такими программными комплексами, как Фолио WMS, AZ.WMS, SmartStock.WMS, Solvo.WMS, Radio Beacon WMS и многими другими. Такого рода программные комплексы включают в себя средства моделирования складских процессов, но имеют, как правило, узкую специализацию и не пригодны для моделирования многих логистических процессов, возникающих при совместном осуществлении функций складирования, транспортировки и торговли.

Логистические системы класса ERP (Enterprise Resource Planning), такие как, например, система Microsoft Ахарта, являются мощными инструментами управления внутренними процессами предприятия, включая работу ЛСК. Однако такие коммерческие системы ориентированы в основном на крупные предприятия. Кроме того, в этих комплексах и системах используются, как правило, аналитические методы моделирования, не позволяющие учесть все детали технологических процессов и исследовать их в динамике в отличие от имитационного моделирования.

Более того, при решении практических задач часто возникает необходимость учета и обработки дополнительной информации о событиях, явлениях, процессах и их взаимосвязях, не укладываемых в модели предметных областей используемых логистических систем. Таким образом, возникает необходимость применения дополнительных средств формулировки и решения «нестандартных» (с точки зрения используемых логистических систем) задач. Для их решения существует множество различных программных средств. Проблема заключается в разработке методики согласованного использования этих программных средств.

#### **Методика решения задач складской логистики**

Предлагаемая авторами статьи методика основана на подходах к моделированию сложных систем, представленных в работах [4, 12] и ориентирована на использование распределенной вычислительной среды

для проведения многовариантных расчетов. Данная методика направлена на интеграцию аналитического и имитационного моделирования, что позволяет более детально анализировать деятельность складского комплекса в динамике и выполнять быструю точечную реализацию дополнительных средств моделирования процессов функционирования ЛСК, не представленных в используемых системах управления этими комплексами.

Рассмотрим основные этапы реализации этой методики.

*1 этап. Построение концептуальной модели и постановка задачи.* На данном этапе предлагается использовать инструменты теории массового обслуживания. Целью теории систем массового обслуживания (СМО) является выработка рекомендаций по рациональному построению системы массового обслуживания и рациональной организации их работы и регулированию потока заявок, поэтому исследование СМО существенно при анализе функционирования такой сложной системы, как логистический складской комплекс. Отсюда вытекают задачи: установление зависимостей работы СМО от ее организации, характера потока заявок, числа каналов и их производительности, правил работы СМО. Для успешного выполнения первого этапа целесообразно разбить его на составляющие (подэтапы):

- структурный анализ предметной области: построение концептуальной модели в терминах предметной области, выявление характеристик объектов предметной области и связей между ними;

- постановка задачи имитационного моделирования системы: формулировка задачи исследования конкретной системы с учетом актуальности такой задачи и необходимости имитационного моделирования, имеющихся ресурсов, масштаба задачи и возможности разбиения ее на подзадачи;

- анализ задачи моделирования системы: проведение анализа, включая выбор критериев оценки эффективности процесса функционирования системы, выполнение предварительного анализа последующих этапов моделирования;

- определение требований к исходной информации и организация ее сбора: формулировка требований к исходной информации об объекте моделирования и в случае необходимости получение недостающей информации, анализ имеющихся экспериментальных данных, выбор методов и средств предварительной обработки информации о системе;

- определение параметров и переменных модели: необходимо определить пара-

метры системы, входные и выходные переменные, воздействия внешней среды;

– установление основного содержания модели: определение основного содержания модели и выбор метода построения модели системы с учетом формулировки задачи моделирования, структуры системы и алгоритмов ее поведения, воздействия внешней среды, возможных методов и средств решения задачи моделирования.

*2 этап. Формализация задачи.* Основным содержанием этого этапа является переход от словесного описания объекта к его математической модели как системы массового обслуживания. Математическая модель представляет собой совокупность соотношений (например, уравнений, логических условий, операторов), определяющих характеристики процесса функционирования системы в зависимости от структуры системы, алгоритмов поведения, параметров системы, воздействий внешней среды, начальных условий и времени. Математическая модель является результатом формализации процесса функционирования исследуемой системы, т.е. построения формального (математического) описания процесса с необходимой в рамках проводимого исследования степенью приближения к действительности. Модель должна быть адекватной, иначе невозможно получить положительные результаты решения поставленной задачи. Адекватной считается модель, которая с определенной степенью приближения отражает процесс ее функционирования во внешней среде [12]. Данный этап состоит из следующих подэтапов:

– формулирование законов, связывающих основные объекты модели и описывающих динамику её функционирования;

– запись на математическом языке всех соотношений и зависимостей, присущих идеализированному объекту, в том числе формулирование математических задач, к которым приводит математическая модель.

*3 этап. Построение имитационной модели.* Данный этап представляет собой практическую деятельность, направленную на реализацию идей и математических схем в виде имитационной модели, ориентированной на использование конкретных программно-технических средств, и включает в себя следующие подэтапы:

– построение логической схемы модели: необходимо разработать логическую структуру модели процесса функционирования системы по блочному принципу для обеспечения необходимой гибкости модели;

– реализация математических соотношений в имитационной модели: проведение соответствия между математической поста-

новкой задачи и переменными в имитационной среде;

– проверка достоверности модели системы: проверяется возможность решения поставленной задачи, полнота и точность отражения замысла в логической схеме, правильность используемых математических соотношений;

– выбор инструментальных средств для моделирования: окончательное решение вопроса о том, какое программное обеспечение целесообразно использовать для реализации модели системы;

– проведение программирования модели: на основе логической схемы модели строится схема программы и программируется в соответствии с выбранным языком (системой);

– проверка достоверности программы: проверка отдельных частей программы при решении различных тестовых задач; объединение всех частей программы и проверка ее в целом на контрольном примере моделирования варианта системы.

*4 этап. Планирование вычислительного эксперимента.* Составление плана проведения эксперимента с указанием комбинаций переменных и параметров, для которых проводится моделирование системы. Имитационное моделирование представляет собой статистический эксперимент, цель которого – получить достоверный результат с заданной точностью. В общем случае количество прогонов модели, необходимое для получения оценок наблюдаемой переменной с заданной точностью, зависит от следующих факторов: вида распределения наблюдаемой переменной, коррелированности между собой элементов выборки, наличия и длительности переходного периода [12]. Для выполнения данного этапа необходимо реализовать следующие подэтапы:

– стратегическое планирование вычислительного эксперимента: необходимо разработать условия проведения эксперимента, определить измеряемые величины, существенные факторы, их сочетания и уровни каждого фактора;

– тактическое планирование вычислительного эксперимента: основной задачей тактического планирования является обеспечение результатов компьютерного эксперимента заданных точности и достоверности;

– определение требований к вычислительным средствам: необходимо сформулировать требования по времени использования вычислительных средств, оценить возможность проведения расчетов на одном компьютере или в распределенной вычислительной среде.

*5 этап. Проведение эксперимента.* После составления имитационной модели

и плана проведения вычислительного эксперимента можно приступить к расчетам, которые включают в себя следующие подэтапы:

– контрольные расчеты: контрольные расчеты выполняются для проверки имитационной модели и определения чувствительности результатов к изменению исходных данных;

– рабочие расчеты: проведения рабочих расчетов по составленной и отлаженной программе;

– анализ результатов моделирования: вычисление статистических характеристик перед выводом результатов моделирования повышает эффективность вычислительного эксперимента и сводит к минимуму обработку выходной информации для интерпретации результатов моделирования [8–10, 13–15];

– представление результатов моделирования: необходимо уделить внимание форме представления окончательных результатов моделирования для каждого конкретного случая (таблицы, графики, диаграммы, схемы).

Как отмечено в [12], проведение рабочих и контрольных расчетов обычно включают в себя:

- а) подготовку наборов исходных данных;
- б) проверку исходных данных;
- в) проведение расчетов;
- г) получение выходных данных, т.е. результатов моделирования.

Для проведения многовариантных расчетов используется распределенная вычислительная среда [5, 11], позволяющая существенно сократить общее время проведения вычислительного эксперимента за счет параллельного выполнения этих расчетов.

*6 этап. Интерпретация результатов моделирования.* Здесь необходимо перейти от информации, полученной в результате вычислительного эксперимента с имитационной моделью, к информации применительно к объекту моделирования, на основании которой и будут делаться выводы относительно характеристик процесса функционирования исследуемого ЛСК. Данный этап состоит из следующих подэтапов:

– перевод результатов моделирования в исходную шкалу измерений: полученные результаты необходимо перевести в размерность реальных физических величин;

– описание ключевых особенностей модели, результатов проведения вычислительного эксперимента;

– проверка гипотез и предположений, выдвинутых на этапе постановки задачи: в зависимости от целей исследования и вида, получаемых при моделировании результатов, могут использоваться методы корреляционного, дисперсионного и регрессионного анализа [6];

– выводы и рекомендации по практическому использованию результатов моделирования: результаты моделирования отражают основные особенности функционирования объекта и позволяют качественно и количественно оценить его поведение.

Разработана инструментальная система [3], обеспечивающая частичную или полную автоматизацию всех этапов методики, рассмотренной выше. Данная методика была использована для решения ряда практических задач складского менеджмента [1, 2, 7].

### Вычислительный эксперимент

Решение задачи складской логистики обязательно включает в себя: подготовку исходных данных, формирование паспорта задания, сбор данных и анализ собранной информации. Поэтому анализ эффективности описанной выше методики был проведен на основе оценки времени, затраченного для решения задач с использованием данной методики и без нее. Данные получены эмпирическим путем при проведении ряда экспериментов.

Время выполнения  $i$ -го задания задано соотношением

$$t_i = \alpha_i + \beta_i + \gamma_i + \delta_i,$$

где  $\alpha_i$  – время, необходимое для подготовки исходных данных для выполнения  $i$ -го задания;  $\beta_i$  – время формирования паспорта  $i$ -го задания;  $\gamma_i$  – время сбора данных о выполненном  $i$ -м задании;  $\delta_i$  – время анализа данных  $i$ -го задания. Тогда оценка времени, затрачиваемого на решение задачи, содержащей  $k$  заданий, определяется по формуле

$$\hat{T} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k t_i.$$

Как показывают результаты, приведенные в таблице, применение описанной в статье методики в значительной степени сокращает трудозатраты на решение задач складского менеджмента, что позволяет сделать вывод об эффективности данной методики для решения подобных задач.

### Заключение

В статье представлена методика решения задач складской логистики, основанная на применении методов и средств системного анализа. Особенностью данной методики является интегрированное применение аналитического и имитационного моделирования. Предложенная методика позволяет анализировать деятельность логистического складского комплекса в динамике и дает возможность решать «нестандартные» (с точки зрения программных комплексов ERP

и WMS классов) задачи складского менеджмента. При решении ряда практических задач показана эффективность применения данной методики.

Результаты оценки времени выполнения этапов решения задачи складской логистики

Этапы	$\hat{T}$ – оценка времени выполнения этапа для одного варианта вычислительного эксперимента в с	
	с использованием предложенной методики	без использования предложенной методики
Подготовка данных	10–60	10–120
Формирование паспорта задания	1–4	10–300
Сбор данных	1–2	10–120
Анализ данных	1–4	10–90

**Список литературы**

1. Башарина О.Ю. Моделирование складской логистики в распределенной вычислительной среде // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. – Иркутск: ИРГУПС, 2012. – Вып. 10. – С. 79–84.
2. Башарина О.Ю., Горский С.А. Моделирование складской логистики: разработка и комплексирование в ORLANDO TOOLS // Программные продукты и системы. – 2012. – № 1. – С. 89–91.
3. Башарина О.Ю., Дмитриев В.И., Ларина А.В., Феоктистов А.Г. Инструментальная система для автоматизации построения имитационных моделей // Моделирование. Теория, методы и средства: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. В 2-х ч. – Новочеркасск: Лик, 2008. – Ч. 1. – С. 38–39.
4. Боев В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 368 с.
5. Бычков И.В., Опарин Г.А., Феоктистов А.Г., Корсуков А.С. Распределение заданий в интегрированной кластерной системе на основе их классификации // Вычислительные технологии. – 2013. – Т. 18. – № 2. – С. 25–32.
6. Герцекевич Д.А. Количественные методы анализа финансовых рынков. – Иркутск: ИГУ, 2008. – 335 с.
7. Дмитриев В.И., Башарина О.Ю., Феоктистов А.Г., Ларина А.В. Моделирование современных логистических складских комплексов с использованием вычислительной техники // Экономика и управление. – 2010. – № 6. – С. 88–92.
8. Жигунова Я.А., Носков С.И. Определение гармоник сигнала монитора на основе методов регрессионного анализа // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2008. – № 4. – С. 89–90.
9. Лакеев А.В., Носков С.И. О множестве решений линейного уравнения с интервально заданными оператором и правой частью // Сибирский математический журнал. – 1994. – Т. 35. – № 5. – С. 1074.
10. Носков С.И. Построение эконометрических зависимостей с учетом критерия «согласованность поведения» // Кибернетика и системный анализ. – 1994. – № 1. – С. 177.
11. Опарин Г.А., Новопашин А.П., Феоктистов А.Г. Интегрированная инструментальная среда организации проблемно-ориентированных распределенных вычислений // Программные продукты и системы. – 2013. – № 1. – С. 3–6.
12. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 2001. – 343 с.
13. Kreinovich V., Lakeyev A.V., Noskov S.I. Approximate linear algebra is intractable // Linear Algebra and its Applications. – 1996. – Т. 232. – № 1–3. – С. 45–54.
14. Lakeyev A.V., Noskov S.I. A description of the set of solutions of a linear equation with interval defined operator and right-hand side // Doklady Mathematics. – 1993. – Т. 47. – № 3. – С. 518.
15. Lakeyev A.V., Noskov S.I. Description of the solution set to linear equation with the intervally defined operator and right-hand side // Доклады Академии наук. – 1993. – Т. 330. – № 4. – С. 430.

**References**

1. Basharina O.Yu. *Informatsionnyye tehnologii i problemy matematicheskogo modelirovaniya slozhnykh system (Information technology and the problems of mathematical modeling of complex systems)*, Irkutsk, Publ. IRGUPS, 2012, no. 10, pp. 79–84.
2. Basharina O.Yu., Gorskiy S.A. *Programmnye produkty i sistemy (Software and systems)*, 2012, no. 1, pp. 89–91.
3. Basharina O.Yu., Dmitriev V.I., Larina A.V., Feoktistov A.G. *Modelirovanie. Teoriya, metody i sredstva: materialy VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Simulation. Theory, methods and tools: Materials VIII Intern. scientific-practical. conf.)*, Novocherkassk, Publ. Lik, 2008, Vol. 1, pp. 38–39.
4. Boev V.D. *Modelirovanie sistem. Instrumentalnyye sredstva GPSS World [Modeling systems. Tools GPSS World]*, S. Petersburg, Publ. BHV, 2004, 368 p.
5. Byichkov I.V., Oparin G.A., Feoktistov A.G., Korsukov A.S. *Vyichislitelnyye tehnologii (Computing Technologies)*, 2013, Vol. 18, no. 2, pp. 25–32.
6. Gertsekovich D. A. *Kolichestvennyye metody analiza finansovykh ryunkov (Quantitative methods of analysis of financial markets)*, Irkutsk: IGU, 2008. 335 p.
7. Dmitriev V.I., Basharina O.Yu., Feoktistov A.G., Larina A.V. *Ekonomika i upravlenie (Economics and Management)*, 2010, no. 6, pp. 88–92.
8. Zhigunova Ya.A., Noskov S.I. *Sovremennyye tehnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie, (Modern technology. System analysis. Modeling)*, 2008, no. 4, p. 89–90.
9. Lakeev A.V., Noskov S.I. *Sibirskiy matematicheskii zhurnal (Siberian Mathematical Journal)*, 1994, Vol. 35, no. 5, p. 1074.
10. Noskov S.I. *Kibernetika i sistemnyy analiz (Cybernetics and Systems Analysis)*, 1994, no. 1, p. 177.
11. Oparin G.A., Novopashin A.P., Feoktistov A.G. *Programmnye produkty i sistemy (Software and systems)*, 2013, no. 1, pp. 3–6.
12. Sovetov B.Ya., Yakovlev S.A. *Modelirovanie sistem [Simulation systems]*, Moscow, Publ. Vysshaya shkola, 2001, 343 p.
13. Kreinovich V., Lakeyev A.V., Noskov S.I. *Linear Algebra and its Applications*, 1996, Vol. 232, no. 1-3, pp. 45–54.
14. Lakeyev A.V., Noskov S.I. *Doklady Mathematics*, 1993, Vol. 47, no. 3, pp. 518.
15. Lakeyev A.V., Noskov S.I. *Doklady Akademii nauk (Reports of the Academy of Sciences)*, 1993, Vol. 330, no. 4, pp. 430.

**Рецензенты:**

Кузьмин О.В., д.ф.м.н., профессор, ведущий кафедрой теории вероятностей и дискретной математики Иркутского государственного университета, г. Иркутск;

Лакеев А.В., д.ф.м.н., профессор, ведущий научный сотрудник Института динамики систем и теории управления СО РАН, г. Иркутск.

Работа поступила в редакцию 25.12.2013.