

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕСУРСНОЙ МОДЕЛИ В ВЫЧИСЛЕНИЯХ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДОМ

Т. В. Чашкина, И. Л. Коробова, Н. В. Майстренко

*Кафедра «Системы автоматизированной поддержки принятия решений»,  
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; sapr.tstu@mail.ru*

**Ключевые слова:** автоматизация управления; комбинаторная математическая модель; математическое моделирование; матрицы отношений; оптимизация управления; система управления складом.

**Аннотация:** Показан ресурсный подход к моделированию процесса размещения товара на складе. Сформулирована задача оптимизации размещения относительно критерия затрачиваемых ресурсов на дальнейшую выемку товара, а также его обслуживание в процессе работы предприятия торговли. Рассмотренные методики в совокупности с экономическими критериями оценки динамики реализации товара могут быть использованы в математическом аппарате систем автоматизации управления складом.

---

В настоящее время актуальность разработки систем автоматизированного управления складскими помещениями объясняется широким развитием сетей розничной торговли с крупными узлами логистики. Эффективность планирования каждого этапа перемещения товара гарантирует оптимальность затрат предприятия в общем и минимизацию связанных рисков [1]. В статье будет определена методика формализации ресурсной модели склада. В совокупности с маркетинговыми инструментами оценки динамики товара, такая модель позволит получать оптимальные решения по размещению продукции относительно затрачиваемых ресурсов на ее обслуживание и извлечение при реализации. Актуальность рассмотренных вопросов заключается в полной проработке факторов оценки распределения товара на складе, которое в настоящее время осуществляется исключительно из оптимизации геометрического доступа без учетов собственной динамики ликвидности продукции или расходов, связанных с обслуживанием стеллажей: аудит, кодификация единиц продукции и т.д. [2].

Разработка математического аппарата, в таком случае, позволит унифицировать критерий оптимального поиска и на основе сравнительного анализа алгоритмов поисковой оптимизации выявить наиболее подходящую методику для ее последующей программной реализации в составе автоматизированной системы.

Перейдем к математической формализации модели. Пусть геометрическое место точек, отражающее расположение  $N$  единиц товара в пространстве склада, есть вектор  $X = \{x_i\}$ ,  $i = 1, \dots, N$ . Правило, задающее расположение стеллажей, то есть допустимые места размещения товара, обозначим как  $X \in X_{\text{доп}}$  [3].

В представленной задаче особое значение имеет приоритет выемки товаров, который определяется динамикой его реализации и физически отражает ближайшее расположение ликвидного товара относительно некоторой опорной точки его реализации  $M$  и других единиц продукции [4]. Определим обозначенный приори-

тет математически как вектор эмпирических коэффициентов  $P = \{p_i\}$ ,  $i = 1, \dots, N$ . Поскольку суждение о ликвидности товара имеет периодический характер, что может быть связано, например, с сезонностью его реализации, будем говорить о некотором статичном промежутке планирования [5].

Оптимальность распределения товаров априори зависит от минимизации всех перемещений работников  $R$  между стеллажами при его выемке относительно точки  $M$ :

$$R = \sum_{i=1}^N |x_i - M|. \quad (1)$$

Выражение под знаком суммы в (1) отражает расстояние от  $i$ -го товара до опорной точки, которое на практике не обязательно представляет отрезок прямой и зависит от конфигурации склада.

С учетом вектора  $P$  и при условии положительной действительной градации коэффициентов прямо пропорционально степени товарной ликвидности, задача оптимизации размещения товара  $R'$  на основе (1) примет вид

$$\sum_{i=1}^N \frac{1}{p_i} |x_i - M| \rightarrow \min_{X \in X_{\text{доп}}} R'(X). \quad (2)$$

Однако на этапе обработки товара, на рассматриваемом временном промежутке, необходимо учитывать и ресурсы, связанные с физическим доступом к единицам продукции, которые не всегда на практике полностью определяются расстоянием до точки  $M$ . Для унификации понятия ресурсов в представленной задаче введем матрицу переходов между товарами  $C$ , формируемую экспертно относительно показателей работы операторов склада, принятых к рассмотрению в качестве оценки: время перемещения, расход энергии машины-погрузчика и т.п. Стоит отметить, что элементы такой матрицы  $\{c_{i,j}\}$  могут отражать и комплексный критерий – суперпозицию локальных оценок [6].

В таком случае, имеет место следующая задача оптимизации ресурсов обслуживания, которая характеризуется как комбинаторная:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{i,j} x_i \rightarrow \min_{X \in X_{\text{доп}}} C(X). \quad (3)$$

Объединим задачи (2) и (3) для осуществления возможности достижения глобального экстремума из локальных оценок  $C(X)$  и  $R'(X)$  на численной вариации параметра оптимизации  $X \in X_{\text{доп}}$

$$A \sum_{i=1}^N \frac{1}{p_i} |x_i - M| + B \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{i,j} x_i \rightarrow \min_{X \in X_{\text{доп}}} AR'(X) + BC(X). \quad (4)$$

В записи проблемы (4) используются коэффициенты математической свертки  $A$  и  $B$ , устанавливающие взаимный приоритет локальных критериев  $R'(X)$  и  $C(X)$ . Точное численное их определение имеет эмпирический характер и зависит от практического моделирования с соответствующей экспертной оценкой результатов.

Решение задачи (4) относительно допустимого размещения товара будет гарантировать эффективность его обслуживания и осуществления процесса выемки. Отметим, что ряд коэффициентов целевой функции имеет эмпирический характер, увеличивающий число предварительных исследований предметной области.

Однако последнее оправдано возможностью полной автоматизации поиска численного решения эффективного относительно представленных критериев оценки размещения товара. Проблема (4) априори не может быть решена аналитически. Так как она имеет отношение к классу комбинаторных задач, точное решение может быть проведено полным или сокращенным перебором в зависимости от размерности задачи  $N$  и мощности вычислительных ресурсов [7].

Функционально алгоритм сокращенного перебора, применяемый в терминологии рассматриваемой задачи, приведен на рис. 1.

Абстрагируясь от матрицы отношений  $\{c_{i,j}\}$  до некоторого множества всех возможных решений  $G$  полный перебор представил бы вариативное рассмотрение каждого его элемента. Итерационно, будем умеренно сокращать  $G$  до возможности частичного перебора с учетом резкого понижения размерности выделением подмножества перспективных вариантов развития решений [8]. Порядок операций будет следующий:

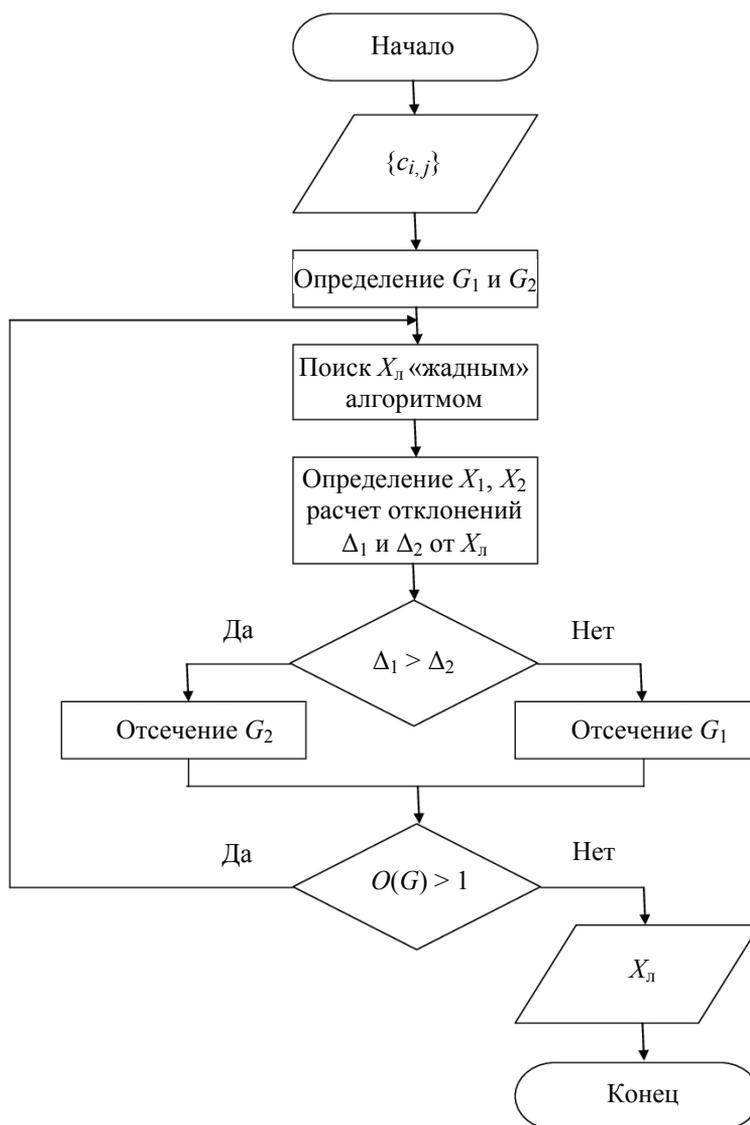


Рис. 1. Функциональная схема поиска решения методом сокращенного перебора

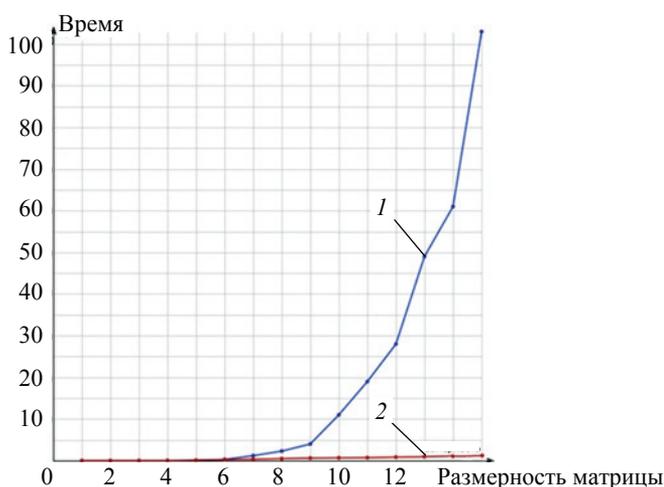
- 1) локализация  $G$  на уровне обозначения матрицы  $\{c_{i,j}\}$  и соответствующих направлений ее поэлементного рассмотрения;
- 2) выделение подмножеств  $G_1$  и  $G_2$ ;
- 3) поиск «жадным» алгоритмом локального решения  $X_L$  и принятия его в качестве алгоритма оценки;
- 4) прогнозирование развития решения  $X_1$  и  $X_2$  относительно  $G_1$  и  $G_2$  соответственно;
- 5) расчет отклонений  $X_1$  и  $X_2$  от  $X_L$  и локализация наиболее выраженного;
- 6) сокращение  $G$  путем исключения подмножества  $G_1$  или  $G_2$ , соответствующего неперспективному направлению развития решения;
- 7) вариативное рассмотрение проблемы путем повторения обозначенных выше п. 3 – 6 до полного рассмотрения всего множества решений.

Отметим, что представленный алгоритм, согласно теории комбинаторной оптимизации, будет являться априори точным. Вырождение алгоритма в полный перебор исключается переходом по  $X_L$  с некоторым шагом.

Практическая апробация проводилась на множествах исходных данных, допускающих реализацию алгоритма полного перебора. Рассмотрены выборки размерностью до 15-ти элементов системы (рис. 2).

Отметим, что численно решения полного и сокращенного перебора сошлись, что говорит о правильности практической реализации методик. Однако преимущество скорости решения методом сокращенного перебора явилось очевидным. Так, на размерности от 7 элементов системы метод полного перебора стал отставать от частичного и к 15-й размерности модуль разности достиг 103 с. Поскольку практические размерности предполагаются значительно больше 15, выбор конечного метода очевиден.

Направлением развития работы является унификация алгоритмов поиска вектора  $X$  в терминах представленной проблемы под различные типы товаров организаций-операторов торговли, что в частности, касается и применения ускоряющих методик, позволяющих получать точные решения задачи и, при этом, не давать алгоритму вырождаться в полный перебор на областях определения функции со слабовыраженным градиентом. Последнее также не исключено на практике и априори должно быть учтено при программно-алгоритмической реализации обобщенного решения.



**Рис. 2. Кривые фактического времени поиска решения от размерности матрицы отношений для алгоритмов полного (1) и сокращенного перебора (2)**

Это позволит сформировать универсальную математическую базу для практического применения в системах автоматизации работы склада. Эффективность применяемых методов гарантирована теорией комбинаторной оптимизации и абсолютной точностью получаемых решений.

#### *Список литературы*

1. Автоматизированные информационные технологии в экономике : учебник / под ред. Г. А. Титоренко. – М. : ЮНИТИ, 2005. – 399 с.
2. Буреш, О. В. Интеллектуальные информационные системы управления социально-экономическими объектами / О. В. Буреш, М. А. Жук. – М. : Красанд, 2012. – 192 с.
3. Дыбская, В. В. Управление складированием в цепях поставок / В. В. Дыбская. – М. : Альфа–Пресс, 2009. – 720 с.
4. Хайрулин, С. А. Сертификация услуг товарного склада. Нормативные документы и комментарии / С. А. Хайрулин. – М. : РИА «Стандарты и качество», 2002. – 576 с.
5. Волгин, В. В. Логистика хранения товаров. Практ. пособие / В. В. Волгин. – М. : Дашков и Ко, 2010. – 410 с.
6. Пападимитриу, Х. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность / Х. Пападимитриу, К. Стайглиц. – М. : Мир, 1984. – 512 с.
7. Левин, В. И. Непрерывно-логические алгоритмы решения комбинаторных задач / В. И. Левин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2007. – Т. 13, № 3. – С. 687 – 698.
8. Тараканов, В. Е. Комбинаторные задачи и (0,1)-матрицы / В. Е. Тараканов. – М. : Наука, 1985. – 192 с.

---

## **Application of the Resource Model in Calculations for Computer-Aided Warehouse Management**

**T. V. Chashkina, I. L. Korobova, N. V. Maistrenko**

*Department of Computer-Aided Decision Support Systems,  
TSTU, Tambov, Russia; [sapr.tstu@mail.ru](mailto:sapr.tstu@mail.ru)*

**Keywords:** computer-aided control; combinatorial mathematical model; math modeling; relationship matrix; management optimization; warehouse management system.

**Abstract:** The resource approach to modeling the warehousing process is described. The problem of warehousing optimization with respect to the criterion of resources spent on the further flow of the goods and their handing at a retail enterprise is formulated. The considered techniques together with the economic criteria for assessing the dynamics of the sale of goods can be used in the mathematical modeling of computer-aided warehouse management systems.

#### *References*

1. Titorenko G.A. [Ed.] *Avtomatizirovannyye informatsionnyye tekhnologii v ekonomike: uchebnyy* [Automated information technologies in economics: a textbook], Moscow: YUNITI, 2005, 399 p. (In Russ.)

2. Buresh O.V., Zhuk M.A. *Intellektual'nyye informatsionnyye sistemy upravleniya so-tsial'no-ekonomicheskimi ob'yektami* [Intellectual information systems for managing socio-economic objects], Moscow: Krasand, 2012, 192 p. (In Russ.)
  3. Dybskaya V.V. *Upravleniye skladirovaniyem v tsepyakh postavok* [Warehouse management in supply chains], Moscow: Al'fa-Press, 2009, 720 p. (In Russ.)
  4. Khayrulin S.A. *Sertifikatsiya uslug tovarnogo sklada. Normativnyye dokumenty i kommentarii* [Certification of warehouse services. Regulatory documents and comments], Moscow: RIA "Standarty i kachestvo", 2002, 576 p. (In Russ.)
  5. Volgin V.V. *Logistika khraneniya tovarov. Prakticheskoye posobiye* [Logistics of storage of goods. Practical guide], Moscow: Dashkov i Ko, 2010, 410 p. (In Russ.)
  6. Papadimitriu Kh., Stayglits K. *Kombinatornaya optimizatsiya. Algoritmy i slozhnost'* [Combinatorial optimization. Algorithms and complexity], Moscow: Mir, 1984, 512 p. (In Russ.)
  7. Levin V.I. [Continuous-logical algorithms for solving combinatorial problems], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2007, vol. 13, no. 3, pp. 687-698. (In Russ., abstract in Eng.)
  8. Tarakanov V.Ye. *Kombinatornyye zadachi i (0,1)-matritsy* [Combinatorial problems and (0,1)-matrices], Moscow: Nauka, 1985, 192 p. (In Russ.)
- 

### **Anwendung des Ressourcenmodells in Berechnungen für Automatisierung der Lagerverwaltung**

**Zusammenfassung:** Es ist der Ressourcenansatz zur Modellierung des Vorgangs des Lagerbestands gezeigt. Das Problem der Optimierung der Platzierung hinsichtlich des Kriteriums der für die weitere Entnahme der Waren aufgewendeten Ressourcen sowie ihrer Dienstleistung im Prozess des Handelsunternehmens ist formuliert. Die betrachteten Techniken zusammen mit den wirtschaftlichen Kriterien zur Beurteilung der Dynamik des Warenverkaufs können in mathematischen Geräten von Automatisierungssystemen der Lagerverwaltung verwendet werden.

---

### **Utilisation du modèle de ressource dans les calculs de l'automatisation de la gestion de l'entrepôt**

**Résumé:** Est présentée une approche de ressources pour modéliser le processus de la création de stock. L'objectif est d'optimiser le placement suivant le critère des ressources dépensées pour la poursuite de l'excavation du produit, ainsi que son service dans le processus du fonctionnement de l'entreprise commerciale. Les méthodes examinées, associées aux critères économiques d'évaluation de la dynamique de la vente des marchandises, peuvent être utilisées dans l'application mathématique des systèmes d'automatisation de la gestion des entrepôts.

---

**Авторы:** *Чашкина Татьяна Владимировна* – магистрант; *Коробова Ирина Львовна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений»; *Майстренко Наталья Владимировна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

**Рецензент:** *Егоров Сергей Яковлевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.