8. Палюх Б.В., Егерева И.А. Многошаговая система поиска альтернатив в информационном каталоге // *Программные продукты и системы*. 2013. № 3. С. 291–295.
9. Control of the final state of fuzzy dynamical systems / A.N. Sotnikov [et al.] // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. 2019. V. 40. № 5. P. 599–605.
10. Беллман Р., Заде Л. Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир. 1976. 215 с.

Для цитирования: Боровик В.В., Егерева И.А., Смирнова П.М. Построение алгоритма управления конечным состоянием нечеткой динамической системы // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2024. № 3 (23). С. 90–96.

CONSTRUCTION OF AN ALGORITHM FOR CONTROLLING THE FINAL STATE OF A FUZZY DYNAMICAL SYSTEM

V.V. BOROVIK, magister, I.A. EGEREVA, Cand. Sc., P.M. SMIRNOVA, magister

Tver State Technical University,
22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver, e-mail: refhesx@mail.ru

Algorithms for finite state control of a fuzzy dynamic system are developed. For this purpose, a control system in which the state space of the system is a compact metric space is considered. The control space of the considered system is also a compact metric space. To construct these algorithms, the evolution of the system has been described as a fuzzy relation represented in the product of the control and state spaces of the system. This relation is given by a fuzzy set with its corresponding membership function. In accordance with the Bellman optimality principle, a search for the elements of the control sequence that allow to obtain the maximum realization of the fuzzy objective has been performed.

Keywords: fuzzy process, decision making, algorithm, Bellman equation.

Поступила в редакцию/received: 08.05.2024; после рецензирования/revised: 13.05.2024; принята/accepted: 20.05.2024

УДК 681.51

АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

В.В. БОРОВИК, магистр, Д.А. КОКОВКИН, асп., П.М. СМИРНОВА, магистр

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: kokovkin93@mail.ru

Рассмотрено совершенствование процесса приобретения товаров, которое ведет к снижению производственных расходов, а также к увеличению прибыли промышленного предприятия. В ходе анализа данных создан алгоритм, определяющий идеальное количество товара. Подчеркнуто, что этот алгоритм значительно улучшит

качество поставок и производства, сократит затраты на складирование и износ продукции. Отмечено, что он базируется на принципе продолжения траекторий, который сводит задачу прогнозирования к соответствующей последовательности задач линейного программирования.
Ключевые слова: задача прогнозирования, принцип построения траекторий, алгоритм.

DOI: 10.46573/2658-5030-2024-3-96-101

ВВЕДЕНИЕ

Проблематика распределения ресурсов является одной из исторических задач математического программирования. Данный вопрос был глубоко изучен и рассмотрен в классическом виде в работе [1], где приведено полное решение такого рода задач.

Исходная статическая проблематика – это специальный случай вопроса о распределении ресурсов, но специфика такова, что применение классических методов напрямую приводит к слишком сложной вычислительной процедуре [2]. Статическая задача линейного программирования известна; описана и изучена давно, последние результаты можно найти в статьях [3, 4].

Отличительная черта, исследованная в данной статье, – простота нахождения вершин. В данной работе предложен алгоритм, основанный на правиле LIFO (англ. last in, first out – «последним пришел – первым ушел»), который позволяет легко и просто обходить вершины симплекса.

В настоящей статье будет рассмотрена динамическая форма прогнозирования с изменяемыми параметрами, для решения которой следует разработать алгоритм, основанный на принципе продолжения траекторий. С использованием данного принципа тематика прогнозирования сводится к последовательности задач линейного программирования, что позволяет находить оптимальное решение для управления запасами на предприятии [5].

Таким образом, основными целями данной работы являются формулировка задачи прогнозирования и разработка алгоритма ее решения.

ПОСТАНОВКА СТАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ

Задача об управлении запасами может быть представлена в виде

$$F_1(x_1) + F_2(x_2) + \cdots + F_i(x_i) + \cdots + F_n(x_n) \to max,$$

где $F(x_i)$ – прибыль от закупленного товара вида i.

При этом должны быть выполнены ограничения:

$$C_1x_1 + C_2x_2 + \cdots + C_ix_i + \cdots + C_nx_n = M; \quad (1)$$

$$A_i \le x_i \le B_i, \quad (2)$$

где C_ix_i – стоимость всего закупленного товара вида i; A_i – минимальное количество, доступное для закупки товара вида i; B_i – максимальное количество, доступное для закупки товара вида i; M – бюджет, заложенный на закупку.

В настоящей работе мы будем рассматривать случай, когда все функции F_i линейные:

$$a_1x_1 + a_2x_2 + \cdots + a_ix_i + \cdots a_nx_n \ldots \to max,$$

где a_i – некоторые действительные числа при ограничениях (1), (2).

Смысл данных чисел состоит в том, что они представляют собой стоимость единицы товара с накруткой.

Специфика поставленной задачи подразумевает, что в ней мало ограничений типа равенств и они простые, поэтому нет необходимости применять процедуру выбора наилучшего направления. Гораздо проще и быстрее перебрать все вершины многогранника по правилу LIFO, т.е. если мы оказались в какой-то вершине и величина $d < 0$, мы берем следующую попавшуюся вершину, решая соответствующую систему линейных уравнений. В дальнейшем при решении задачи прогнозирования мы будем пользоваться этим алгоритмом [6, 7].

ЗАДАЧА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Формально задача прогнозирования может быть сведена к следующему:

$$F_1\big(x_1(t)\big) + F_2\big(x_2(t)\big) + \cdots + F_i\big(x_i(t)\big) + \cdots + F_n\big(x_n(t)\big) \to max,$$

где $F\big(x_i(t)\big)$ – прибыль от закупленного товара вида i; t – время.

При этом должны быть выполнены ограничения:

$$C_1x_1(t) + C_2x_2(t) + \cdots + C_ix_i(t) + \cdots + C_nx_n(t) = M;$$

$$A_i \le x_i(t) \le B_i.$$

В нашем случае условная функция является линейной, поэтому задача предстанет в виде

$$a_1x_1(t) + a_2x_2(t) + \cdots + a_ix_i(t) + \cdots a_nx_n(t) \ldots \to max.$$

Данная задача является задачей квазистатической оптимизации; ее решение связано с известными трудностями, поэтому мы сформулируем ее по-другому.

СВЕДЕНИЕ К ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Целевой функционал данной задачи будет выглядеть следующим образом:

$$\int_0^T F_1(x_1(t)\dot{x_1}) + F_2(x_2(t)\dot{x_2}) + \cdots + F_i(x_i(t)\dot{x_i}) + \cdots + F_n(x_n(t)\dot{x_n})\,dt \to max. \qquad (3)$$

Кроме того, для данной задачи есть ряд ограничений:

$$C_1x_1(t)\dot{x}_1 + C_2x_2(t)\dot{x_2} + \cdots + C_ix_i(t)\dot{x_i} + \cdots + C_nx_n(t)\dot{x_n} = M; \qquad (4)$$

$$A_i \le x_i(t)\dot{x_i} \le B_i. \qquad (5)$$

Сделаем замену переменных $x_i(t) = y_i(t)\dot{y_i}$. Смысл такой замены обоснован в источнике [8]. Следуя работе [8], получаем задачу оптимального управления:

$$\dot{y_i} = u_i;$$

$$\int_0^T [a|1y_1(t)u_1 + a_2y_2(t)u_2 + \cdots + a_iy_i(t)u_i + \cdots a_ny_i(t)u_n \ldots]dt \to max;$$

$$C_1y_1(t)u_1 + C_2y_2(t)u_2 + \cdots + C_iy_i(t)u_i + \cdots + C_ny_n(t)u_n = M;$$

$$A_i \le y_i(t)u_i \le B_i,$$

где a_i – стоимость единицы товара с накруткой:

$$a_i = c_i z_i,$$

где z_i – коэффициент, характеризующий прибыль от продажи единицы данного товара.

Это стандартная задача оптимального управления. Для ее решения в источнике [8] предложен эффективный алгоритм, которым необходимо воспользоваться.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ С ПОМОЩЬЮ ПРИНЦИПА ПРОДОЛЖЕНИЯ ТРАЕКТОРИЙ

Рассмотрим алгоритм решения задачи [9]. Предположим, что начальное состояние задано следующим образом:

$$y_i(0) = y_{i0}, i = 1, \dots, n,$$

где y – переменная состояния.

Новые решения задачи могут возникать в любой точке траектории. При попадании в оптимальную точку траектории решение будет постоянным до изменения момента времени.

В статье [10] показано, что в момент времени $t = 0$ решение задано и будет лежать в одной из вершин многогранника, причем оптимальное значение управления будет постоянным на некотором промежутке времени. В связи с этим рассмотрим задачу математического программирования:

$$a_1 y_{10}(0) u_1 + a_2 y_{20}(0) u_2 + \cdots + a_i y_{i0}(0) u_i + \cdots a_n y_{n0}(0) u_n \to max;$$

$$C_1 y_{10}(0) u_1 + C_2 y_{20}(0) u_2 + \cdots + C_i y_{i0}(0) u_i + \cdots + C_n y_{n0}(0) u_n = M;$$

$$A_i \le y_i(0) u_i \le B_i.$$

Решением данной задачи будут являться числа

$$u_{11}, u_{12}, \dots, u_{1n,} u_{1i},$$

причем эти числа будут оставаться постоянными, пока выполняются ограничения:

$$C_1 y_1(t) u_{11} + C_2 y_2(t) u_{12} + \cdots + C_i y_i(t) u_{1i} + \cdots + C_n y_n(t) u_{1n} = M; \quad (6)$$

$$A_i \le y_i(t) u_{1i} \le B_i. \quad (7)$$

Таким образом, на некотором отрезке $[0, t_1)$ решение задачи задается функциями $u_{11} = const, u_{12} = const, u_{1n} = const$ [10], где t_1 – первый момент времени, когда нарушаются ограничения (6), (7).

В момент времени $t_1 = 0$ мы получаем следующую задачу:

$$a_1 y_1(0) u_1 + a_2 y_2(0) u_2 + \cdots + a_i y_i(0) u_i + \cdots a_n y_n(0) u_n \to max;$$

$$C_1 y_1(0) u_1 + C_2 y_2(0) u_2 + \cdots + C_i y_i(0) u_i + \cdots + C_n y_n(0) u_n = M;$$

$$A_i \le y_i(0) u_i \le B_i,$$

в момент времени $t_1 = 1$ – задачу

$$a_1y_1(1)u_1 + a_2y_2(1)u_2 + \cdots + a_iy_i(1)u_i + \cdots a_ny_n(1)u_n \to max;$$

$$C_1y_1(1)u_1 + C_2y_2(1)u_2 + \cdots + C_iy_i(1)u_i + \cdots + C_ny_n(1)u_n = M;$$

$$A_i \le y_i(1)u_i \le B_i.$$

Таким образом, мы получаем набор чисел: $u_{21}, u_{22}, \dots, u_{2n}$. Они будут оставаться постоянными до момента времени t_2. Работа данного алгоритма будет продолжаться до тех пор, пока мы не достигнем времени окончания прогнозирования, т.е. времени T.

На каждом этапе решение задачи математического программирования мы будем строить с помощью алгоритма, описанного в источнике [9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный алгоритм в простейшей форме был использован для решения некоторых простейших типовых задач [11, 12]. Как показали вычисления, стратегия для эффективного решения задачи прогнозирования такова, что в каждый момент времени максимальные средства нужно вкладывать туда, где в данный момент будет получена максимальная прибыль. Вложение других средств будет оставаться минимальным. Применение данного алгоритма позволит повысить эффективность работы предприятия посредством увеличения прибыли. Задачи такого рода весьма актуальны в различных технических областях; многие из них были описаны и в других статьях (например, в [9]).

Таким образом, если необходимо решить задачу оптимального прогнозирования и управления запасами на предприятии, стоит использовать приведенный алгоритм, который позволяет переориентироваться при изменяющихся условиях (перейти в другую вершину многогранника) и получить большую выгоду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поляк Б.Т. Введение в оптимизацию. М.: Наука. 1983. 384 с.

2. Коковкин Д.А. Об оптимальном управлении запасами торгового предприятия // *Инженерные Технологии*. 2023. № 1. С. 45–49.

3. Морозов В.С. Методы решения задач линейного программирования // *Наука XXI века: актуальные направления развития*. 2020. № 1-1. С. 457–460.

4. Степанов Г.Д. Решение задач линейного программирования приведением к виду с очевидным ответом // *Моделирование и анализ информационных систем*. 2021. № 4. С. 434–451.

5. Забиняко Г.И. Алгоритм симплекс-метода с использованием двойного базиса // *Сибирский журнал вычислительной математики*. 2015. № 4. С. 349–359.

6. Технология раскрытия темы «Симплекс-метод решения задачи линейного программирования» / В.И. Самарин [и др.] // *Вопросы гуманитарных наук*. 2016. № 2. С. 118–126.

7. Якубова У.Ш., Парпиева Н.Т., Мирходжаева Н.Ш. Некоторые применения графического и симплексного методов решения задач линейного программирования // *Бюллетень науки и практики*. 2022. Т. 8. № 4. С. 490–498.

8. Афанасьев А.П. Продолжение траекторий в оптимальном управлении // *Труды Института системного анализа Российской академии наук*. 2005. Т. 17. С. 6–204.

9. Об одной задаче квазистатической оптимизации с дискретными управлениями А.П. Афанасьев [и др.] // *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. 1998. Т. 37. № 3. С. 73–76.

10. Башашкина Г.Ю. Сиплексный метод задач линейного программирования, применяемых в вооруженных силах // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. 2020. № 12-1. С. 11–20.

11. Балабанова Н.В., Валинурова А.А., Данилова С.В. Применение задачи линейного программирования для решения частных задач банковской деятельности // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2022. № 1 (69). С. 46–53.

12. Боровик В.В., Смирнова П.М. Принятие решений в нечетких условиях // *Инженерные Технологии*. 2023. № 1. С. 72–76.

Для цитирования: Боровик В.В., Коковкин Д.А., Смирнова П.М. Алгоритм прогнозирования оптимального управления запасов на предприятии // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2024. № 3 (23). С. 96–101.

FORECASTING ALGORITHM OPTIMAL INVENTORY MANAGEMENT IN THE ENTERPRISE

V.V. BOROVIK, magister, D.A. KOKOVKIN, postgraduate,
P.M. SMIRNOVA, magister

Tver State Technical University,
22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver, e-mail: kokovkin93@mail.ru

The paper considers the improvement of the process of purchasing goods, which leads to a decrease in production costs, as well as to an increase in profits of an industrial enterprise. During the data analysis, an algorithm was created that determines the ideal quantity of goods. It is emphasized that this algorithm will significantly improve the quality of supplies and production, reduce the cost of warehousing and product wear. It is noted that it is based on the principle of continuation of trajectories, which reduces the forecasting task to an appropriate sequence of linear programming tasks.

Keywords: the task of forecasting, the principle of constructing trajectories, the algorithm.

Поступила в редакцию/received: 08.05.2024; после рецензирования/revised: 13.05.2024; принята/accepted: 20.05.2024