

## Обеспечение энергоэффективности производства промышленной продукции на основе принципов оптимизации

Л. Б. Билоцкая<sup>1</sup>, Н. В. Билей-Рубан<sup>2</sup>, С. Ю. Лозовенко<sup>1</sup>, Ю. М. Харченко<sup>3</sup>

<https://doi.org/10.31174/NT2018-158VI18-08>

<sup>1</sup>Киевский национальный университет технологий и дизайна, Киев, Украина

<sup>2</sup>Мукачевский государственный университет, Мукачево, Украина

<sup>3</sup>Аналитически-исследовательская испытательная лаборатория «Текстиль-ТЕСТ», Киев, Украина

Corresponding author. E-mail: bilocka.lb@knutd.edu.ua, natalija.ruban@gmail.com,

lozovenko.sv@knutd.edu.ua, advl-textil-test@knutd.edu.ua

Paper received 24.01.18; Accepted for publication 30.01.18.

**Аннотация.** Рассматривается задача оптимизации качества промышленной продукции при ограничении на стоимость и энергозатраты. Для решения задачи используется симплекс-метод линейного программирования, который предусматривает определение начального опорного плана и проверку полученного плана на оптимальность. Представлены различные варианты решения задачи оптимизации, которые определяются сочетанием исходных данных.

**Ключевые слова:** оптимизация качества промышленной продукции, линейное программирование, стоимость, энергозатраты.

**Введение.** Поиск путей повышения эффективности деятельности – одна из наиболее важных задач, стоящих сегодня перед украинскими производителями, выпускающими промышленную продукцию. При условии улучшения бизнес-климата предприятия Украины могут стать привлекательным объектом для внешних и внутренних инвестиций в производство продукции на экспорт в страны ЕС и другие международные рынки. Для достижения этой цели предприятиям необходимы модели оптимизации затрат, обеспечивающие принятие экономически обоснованных решений, повышающих финансовую результативность и формирующих основу эффективной работы.

Доля энергозатрат в себестоимости продукции определяет ее конкурентоспособность. Энерготарифы – один из самых мощных факторов, влияющих на динамику роста экономических показателей большинства предприятий. И то и другое утверждение – прописные экономические истины. Их актуальность повышается в связи с перспективой повышения энерготарифов до европейского уровня по одному из вариантов развития экономики [1].

**Постановка задачи.** Обеспечение энергоэффективности продукции промышленного производства – это умение экономить ресурсы и максимизировать отдачу от них. Разработка энергосберегающих технологий на промышленных предприятиях не представляется возможной без разработки эффективной системы управления качеством продукции, базирующейся, прежде всего, на научно обоснованных методах оценки и оптимизации качества продукции [2].

Для оптимизации качества промышленных изделий, при наличии различного рода ограничений, целесообразно использовать математический аппарат линейного программирования [3].

При ограничениях на стоимость и энергозатраты задача оптимизации качества промышленной продукции может быть сформулирована следующим образом:

максимизировать комплексный показатель качества изделия [4]

$$\theta_{кз}(\mathbf{x}, \boldsymbol{\alpha}) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot x_i \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^n S_i \cdot x_i \leq S_0; \quad \sum_{i=1}^n T_i \cdot x_i \leq T_0; \quad (2a)$$

$$\begin{aligned} x_1 &\geq x_{1\min} = b_1; & x_2 &\geq x_{2\min} = b_2; & \dots &, \\ x_n &\geq x_{n\min} = b_n, \end{aligned} \quad (2б)$$

где  $S_0$  – допустимая суммарная стоимость (в условных единицах) затрат на реализацию единичных показателей качества изделия;

$S_i$  – затраты на реализацию  $i$ -го базового показателя качества изделия;

$T_0$  – допустимые энергозатраты;

$x_{i\min} = b_i$  – минимально допустимое значение  $i$ -го единичного показателя, при котором сохраняются потребительские свойства изделия;

$\alpha_i$  – коэффициент весомости  $i$ -го единичного показателя,  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ .

Ограничения (2б) обеспечивают исключение случаев компенсации недопустимо низкого значения одних показателей избыточной величиной других показателей.

Путем введения новых переменных

$$y_1 = x_1 - b_1; \quad y_2 = x_2 - b_2; \quad \dots; \quad y_n = x_n - b_n;$$

$$y_{n+1} = S_0 - \sum_{i=1}^n S_i \cdot x_i; \quad y_{n+2} = T_0 - \sum_{i=1}^n T_i \cdot x_i,$$

таких, что  $y_i \geq 0, i \in \overline{1, n}; y_{n+1} \geq 0; y_{n+2} \geq 0$ , задачу максимизации показателя (1) при линейных ограничениях (2) можно свести к классической задаче линейного программирования [5]:

отыскать набор  $P = \{y_1, y_2, \dots, y_n, y_{n+1}, y_{n+2}\}$ , минимизирующий целевую функцию

$$\theta'_{кз}(\mathbf{x}, \boldsymbol{\alpha}) = - \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot b_i - \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot y_i \quad (3)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^n S_i \cdot y_i + y_{n+1} = S_0 - \sum_{i=1}^n b_i \cdot S_i = \Delta S; \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n T_i \cdot y_i + y_{n+2} = T_0 - \sum_{i=1}^n b_i T_i = \Delta T.$$

В системе уравнений (4)  $\Delta S$  и  $\Delta T$  – запасы соответственно финансов и энергоресурсов, которые можно использовать для повышения качества продукции при выполнении условий (2). Если  $\Delta S$  и  $\Delta T$  равны нулю, то, вполне естественно, об оптимизации качества изделия речи быть не может.

**Методика решения задачи.** Для решения задачи линейного программирования воспользуемся симплекс-методом [5], предусматривающим:

- определение начального опорного плана (число элементов плана, отличных от нуля, равно числу ограничений);
- проверку полученного плана на оптимальность;
- переход к другому плану (если опорный план не является оптимальным, т.е. не минимизирует целевую функцию (3)), на котором значение оптимизируемой линейной формы не больше, чем на предыдущем плане.

Определение оптимального плана, если таковой существует, производится через конечное число шагов (обычно между  $m$  и  $2m$ , где  $m$  – число ограничений).

**Результаты решения задачи.** Рассмотрим различные варианты решения задачи оптимизации, которые определяются исходными сочетаниями данных  $S_i$ ,  $\Delta S$ ,  $T_i$  и  $\Delta T$ .

Вариант 1

$$\frac{\Delta T}{T_i} \geq \frac{\Delta S}{S_i}, \quad i \in \overline{1, n} \quad (5)$$

Условие (5) соответствует случаю, когда запас энергоресурса  $\Delta T$  достаточен для компенсации его дополнительных затрат при полном использовании запаса стоимости  $\Delta S$  на улучшение любого из свойств изделия.

Результат решения задачи:

$$x_i = b_i \quad \text{для всех } i \neq k; \quad (6)$$

$$x_k = b_k + \frac{\Delta S}{S_k},$$

При реализации единичных показателей качества в соответствии с (6), значение комплексного показателя качества изделия принимает максимальное значение, равное

$$\theta'_{k3\max 1}(\mathbf{x}, \boldsymbol{\alpha}) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot b_i + \frac{\alpha_k}{S_k} \cdot \Delta S \quad (7)$$

Вариант 2

$$\frac{\Delta T}{T_i} \leq \frac{\Delta S}{S_i}, \quad i \in \overline{1, n} \quad (8)$$

Условие (8) соответствует случаю, когда запас  $\Delta S$  достаточен для компенсации дополнительных затрат денежных средств при полном использовании запаса энергоресурса  $\Delta T$  на улучшение любого из свойств изделия.

Результат решения:

$$x_i = b_i \quad \text{для всех } i \neq l; \quad (9)$$

$$x_l = b_l + \frac{\Delta T}{T_l}.$$

При выполнении условия (9) значение комплексного показателя качества продукции принимает максимальное значение, равное

$$\theta'_{k3\max 2}(\mathbf{x}, \boldsymbol{\alpha}) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot b_i + \frac{\alpha_l}{T_l} \cdot \Delta T. \quad (10)$$

Вариант 3

$$\frac{\alpha_k}{S_k} = \max_i \left\{ \frac{\alpha_i}{S_i} \right\}, \quad \frac{\Delta S}{S_k} > \frac{\Delta T}{T_k}; \quad (11a)$$

$$\frac{\alpha_l}{T_l} = \max_i \left\{ \frac{\alpha_i}{T_i} \right\}, \quad \frac{\Delta T}{T_l} > \frac{\Delta S}{S_l}. \quad (11b)$$

При выполнении условий (11) результаты решения задачи оптимизации представляются в виде:

$x_i = b_i$  для всех  $i$ , кроме  $i = k, l$ ;

$$x_k = b_k + \frac{T_l}{S_k \cdot T_l - T_k \cdot S_l} \cdot \Delta S - \frac{S_l}{S_k \cdot T_l - T_k \cdot S_l} \cdot \Delta T; \quad (12)$$

$$x_l = b_l + \frac{S_k}{S_k \cdot T_l - T_k \cdot S_l} \cdot \Delta T - \frac{T_k}{S_k \cdot T_l - T_k \cdot S_l} \cdot \Delta S;$$

$$\theta'_{k3\max 3}(\mathbf{x}, \boldsymbol{\alpha}) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot b_i + \frac{\alpha_k \cdot T_l - \alpha_l \cdot T_k}{S_k \cdot T_l - T_k \cdot S_l} \cdot \Delta S + \frac{\alpha_l \cdot S_k - \alpha_k \cdot S_l}{S_k \cdot T_l - T_k \cdot S_l} \cdot \Delta T.$$

В ряде случаев излишнее увеличение одного из частных показателей в ходе оптимизации качества продукции не приводит к повышению потребительских свойств изделия. Поэтому, если после оптимизации оказывается, что

$$x_k = b_k + \Delta b_k > b_{k\max},$$

где  $b_{k\max}$  – максимально целесообразное значение показателя  $x_k$ , то необходимо повторить процесс оптимизации, предварительно заменив в системе ограничений (2б) неравенство  $x_k \geq x_{k\min} = b_k$  на равенство  $x_k = x_{k\max} = b_{k\max}$ .

**Выводы**

1. Европейский вектор развития экономики Украины поставил перед отечественными промышленными предприятиями задачу существенного повышения качества выпускаемой продукции при минимальных капиталовложениях.

2. Разработка энергосберегающих технологий на промышленных предприятиях не представляется возможной без разработки эффективной системы управления качеством продукции, базирующейся, прежде всего, на научно обоснованных методах оценки и оптимизации качества продукции.

3. Для оптимизации качества промышленной продукции, при наличии различного рода ограничений, можно использовать математический аппарат линейного программирования.

4. В статье предложены результаты решения задачи оптимизации качества промышленной продукции, которые определяются вариантами сочетания исходных данных: стоимостных затрат и энергозатрат на реализацию  $i$ -го базового показателя качества изделия, а также финансовых запасов и энергоресурса, которые можно использовать для повышения качества продукции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каравайков В. М. Энергосбережение при производстве натуральных волокон: учеб. пособие. – Кострома : Костромской гос. технол. ун-та, 2001. – 111 с.
2. Билоцкая Л. Б. Обеспечение высокого качества швейных изделий из натурального меха на основе системного подхода и принципов оптимизации : дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04 / Билоцкая Лариса Борисовна. – К., 1998. – 252 с.
3. Черноруцкий И. Г. Методы оптимизации в теории управления. – СПб.: Питер, 2004. – 256 с. – ISBN 5-94723-514-5.
4. Ассортимент, свойства и оценка качества тканей / Ю. В. Додонкин, С. М. Кириухин. – Москва : Легкая индустрия, 1979. – 192 с.
5. Гасс С. Линейное программирование (методы и приложения). – Москва: Физматгиз, 1961. – 304 с. – Серия «Физико-математическая библиотека инженера»

#### REFERENCES

1. Karavajkov V.M. Energy saving by production of natural fibers: reference textbook. Kostroma: Kostroma State Technological University, 2001, 111 p.
2. Bilotskaya L.B. (1998) The providing of the high quality of fur garments based on the system approach and principles of optimization. PhD diss. Kiev: KNUTD, 252 p.
3. Chernoruckij I.G. Optimization methods in the theory of management. SPb.: Piter, 2004, 256 p. – ISBN 5-94723-514-5.
4. Dodonkin Ju.V., Kirjuhin S.M. Assortment, properties and quality assessment of fabrics. – Moscow: Legkaja industrija, 1979. – 192 p.
5. Saul I. Gass. Linear Programming. Methods and Applications. McGraw-Hill Book Company, Inc, New-York, Toronto, London, 1958, 304 p.

#### **The Ensuring of the Industrial Production Energy Efficiency Based on the Principles of Optimization**

**L. Bilotska, N. Bilei-Ruban, S. Lozovenko, Ju. Kharchenko**

**Abstract.** The task of optimization of the industrial products quality with a restriction on the material and energy costs is considered. The simplex method of linear programming is used to find the solution of this task, provides for the definition of the initial reference plan and verifying the resulting plan for optimality. Various solutions are presented for solving the optimization task, which are determined by a combination of input data.

**Keywords:** *Optimization of the industrial products quality, linear programming, cost, energy costs*