

УДК 004.021
ББК 34.1
Г 70

Горовенко Любовь Алексеевна

Кандидат технических наук, заведующий кафедрой общенаучных дисциплин Армавирского механико-технологического института (филиала) Кубанского государственного технологического университета, Армавир, e-mail: lgorovenko@mail.ru

Коврига Евгения Владиславовна

Кандидат химических наук, доцент кафедры машиностроения Армавирского механико-технологического института (филиала) Кубанского государственного технологического университета, Армавир, e-mail: kovriga2005@yandex.ru

Моделирование параметров целевой функции минимизации затрат на изготовление n -компонентных сплавов (Рецензирована)

Аннотация. Обоснована актуальность применения методов линейной оптимизации к задачам изготовления двух-, трех- и многокомпонентных сплавов. Приведена формализованная задача оптимизации стоимости производства сплава с учетом его химического состава и стоимости компонентов. Описан алгоритм графической визуализации поиска решения. Приведены результаты тестирования разработанного конфигуратора параметров целевой функции.

Ключевые слова: методы линейной оптимизации, визуализация поиска решения, оптимизация химического состава n -компонентных сплавов.

Gorovenko Lyubov Alekseevna

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of General Scientific Disciplines, Armavir Institute of Mechanics and Technology, Branch of Kuban State University of Technology, Armavir, e-mail: lgorovenko@mail.ru

Kovriga Evgeniya Vladislavovna

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Armavir Institute of Mechanics and Technology, Branch of Kuban State University of Technology, Armavir, e-mail: kovriga2005@yandex.ru

Modeling of the parameters of cost minimization objective function for the manufacture of n -component alloys

Abstract. The article substantiates the relevance of the application of linear optimization methods to the problems of manufacturing two-three-and multicomponent alloys. The formalized problem of optimization of cost of alloy production taking into account its chemical composition and cost of components is presented. The algorithm of graphical visualization of solution search is described. The results of testing the developed Configurator parameters of the objective function are given.

Keywords: methods of linear optimization, visualization of solution search, optimization of chemical composition of n -component alloys.

Чистые металлы, как правило, имеют низкие механические свойства, поэтому в машиностроении чаще всего применяют не чистые металлы, а их сплавы.

Сплавом называется материал, полученный путем сплавления нескольких химических элементов. Химические элементы, входящие в сплав, называют компонентами. Сплавы по своему составу могут быть двух-, трех- и более компонентными. Если в состав сплава входит один легирующий элемент, его называют двухкомпонентным.

Процесс легирования заключается в изменении состава стали путем внедрения в нее определенных рассчитанных концентраций легирующих (вспомогательных) элементов для придания ей определенных свойств [1, 2].

Одним из наиболее дорогостоящих легирующих элементов, применяемых в двухкомпонентных сплавах, является никель. Самый распространенный сплав – железо-никель – называется «инвар», его применяют в приборостроении. Такой сплав обладает высокой жаропрочностью и поддается обработке после плавления, в результате чего поверхность защищают от действий коррозии. Его можно обрабатывать самыми различными видами сварки,

так как материал обладает пластичностью и стойкостью к окислениям агрессивных сред.

Так как никель довольно дорогостоящий металл, то очевидной является проблема минимизации затрат на изготовление таких двухкомпонентных растворов без потери уникальных свойств материала.

Решение данной оптимизационной задачи нами было реализовано с использованием методов линейного программирования.

Для решения задачи минимизации был разработан конфигуратор параметров целевой функции с возможностью визуализации найденного решения. Процесс поиска экстремума базируется на классическом алгоритме графического решения оптимизационных задач, основанном на геометрической интерпретации задач линейного программирования [3, 4].

В формализованном виде задача снижения стоимости сплава может быть сформулирована следующим образом: пусть имеется kn -компонентных сплавов, обозначаемых (R_1, R_2, \dots, R_k) , стоимостью соответственно (s_1, s_2, \dots, s_k) , причем пропорции содержания компонентов в разных сплавах различны.

Обозначим через a_{ij} содержание j -ой компоненты в i -ом сплаве.

Из них требуется получить сплав так, чтобы в нем содержалось 1-ой компоненты не менее чем b_1 , 2-ой компоненты не менее чем b_2 , ..., n -ой компоненты не менее b_n . Это будут условия, предъявляемые к прочности и другим свойствам сплава, а следовательно, эти условия можно рассматривать как ограничения в данной формализованной модели. Наша цель – таким образом изготовить сплав, чтобы он имел минимальную стоимость, при этом соблюдались все введенные ограничения.

Через (x_1, x_2, \dots, x_k) обозначим искомое количество каждого из компонентов. Очевидно, что на эти переменные накладываются требования соблюдения следующих строгих неравенств: $x_i \geq 0$, что, в свою очередь, представляет собой граничные условия рассматриваемой оптимизационной задачи.

Стоимость полученного сплава может быть определена следующей формулой:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_k) = s_1 \cdot x_1 + s_2 \cdot x_2 + \dots + s_k \cdot x_k.$$

Таким образом, при соблюдении условия минимизации рассмотренной функции имеем следующую формальную модель для решения поставленной задачи.

Целевая функция:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_k) = s_1 \cdot x_1 + s_2 \cdot x_2 + \dots + s_k \cdot x_k = \sum_{i=1}^k s_i \cdot x_i \rightarrow \min.$$

Система ограничений:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \dots + a_{k1}x_k \geq b_1, \\ a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{k2}x_k \geq b_2, \\ \dots \\ a_{1n}x_1 + a_{2n}x_2 + \dots + a_{kn}x_k \geq b_n. \end{cases}$$

Граничные условия:

$$x_i \geq 0 \quad \forall i \in [1..k].$$

В случае двухкомпонентных сплавов каждое уравнение системы описывает некоторую полуплоскость, в которой должно находиться искомое значение функции, а набор данных полуплоскостей, взаимно пересекая друг друга, формирует некоторую область допустимых значений функции, на основе которой уже выполняется результирующий поиск минимального значения.

Для поиска области допустимых значений нами был разработан следующий алгоритм.

Шаг 1. Выполнить проход по всем полуплоскостям ограничений и рассчитать координаты вершин многоугольника, представляющего собой результат пересечения текущей полуплоскости и предыдущей области.

Шаг 2. Выполнить переход к следующей полуплоскости и повторить первый шаг.

При этом на самой первой итерации в качестве начальной области выбирается сама полуплоскость, описывающая область допустимых значений функции относительно первого ограничения.

После обнаружения области допустимых значений поиск минимума функции выполняется простой подстановкой координат вершин обнаруженной области в формулу целевой функции. Из полученных значений соответственно выбирается наименьшее и считается результатом поиска.

Интерфейс разработанного конфигуратора и результат моделирования параметров целевой функции приведены на рисунке 1.

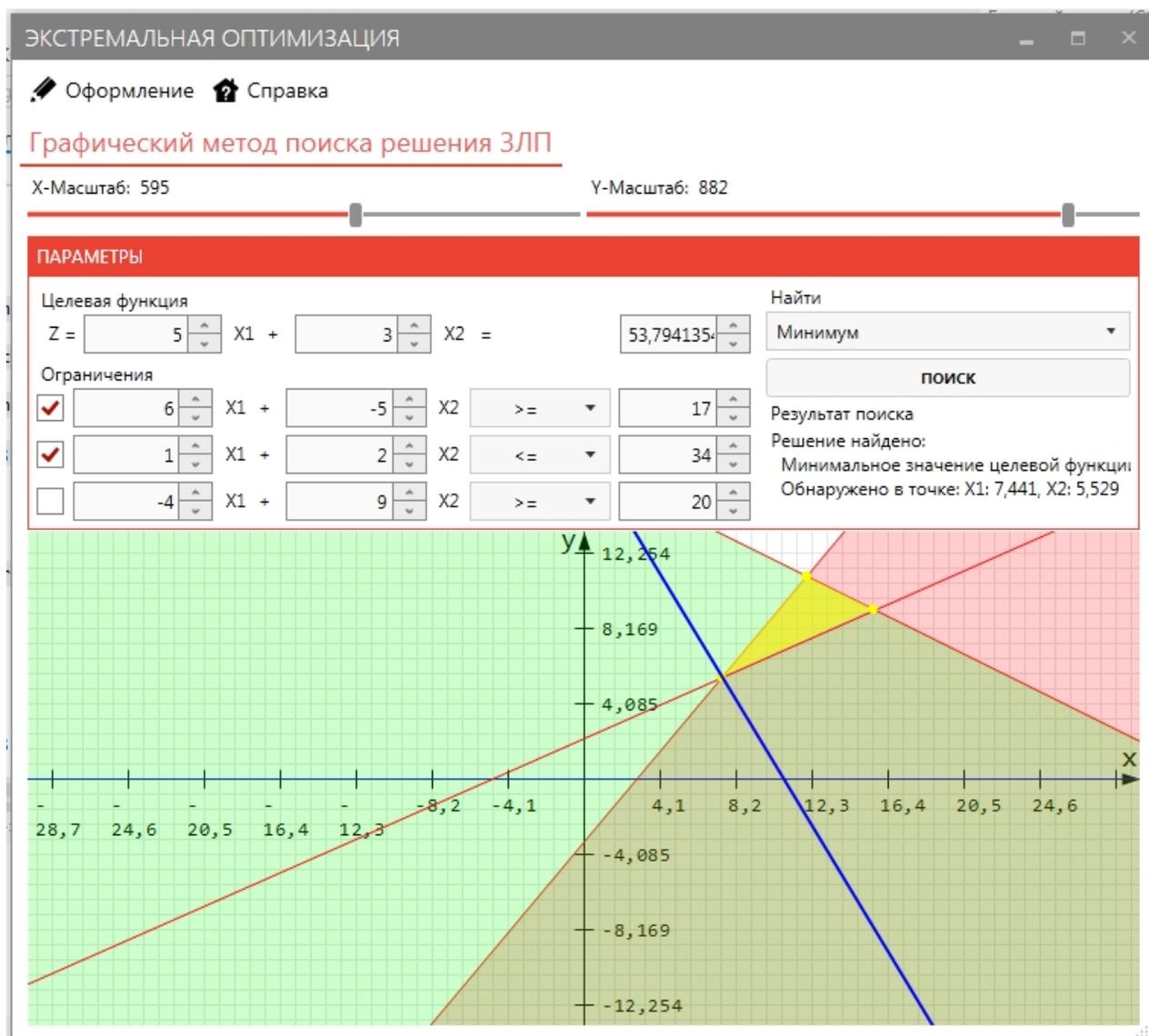


Рис. 1. Результат успешного поиска при корректных начальных условиях

В случае если указанные ограничения не образуют области допустимых значений, то есть решение отсутствует, результат моделирования также будет представлен на экране в виде текстового сообщения и визуального представления отсутствия решения (рис. 2).

Предлагаемое программное решение, разработанное с использованием современных информационных технологий, таких, как платформа NET Framework и язык программирования Visual C#, позволяет обеспечить выполнение поиска решения оптимизационной задачи минимизации затрат на изготовление сплавов, выполнить демонстрацию геометрической интерпретации полученных результатов [3].

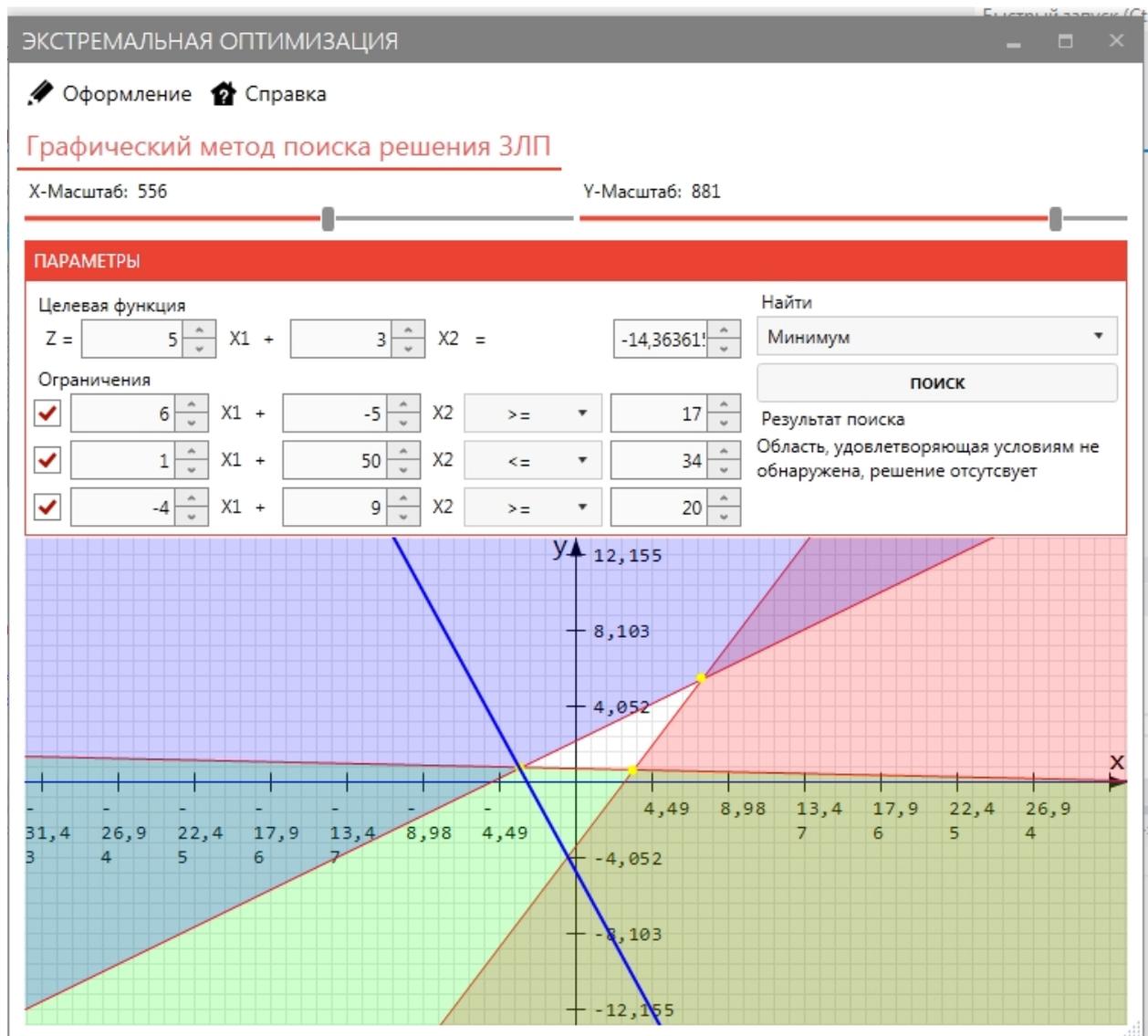


Рис. 2. Отсутствие решения при введенных условиях, не образующих единую область допустимых значений

В предлагаемом программном решении демонстрируется прототип элемента управления, позволяющего в реальном времени устанавливать и конфигурировать параметры ограничений и целевой функции, а также поэтапно отслеживать результат их пересечений и формирование результирующей области допустимых значений.

Нельзя не отметить тот факт, что разработанный конфигуратор может служить средством моделирования ряда задач линейной оптимизации, возникающих в процессе производства n -компонентных сплавов. Так, например, с помощью конфигуратора могут быть смоделированы задачи об оптимальном химическом составе шихты, когда должны быть учтены такие основные условия производства сплавов, как:

- 1) наличие в сплаве всех химических элементов в соответствии с маркой сплава;
- 2) варьирование количества содержания легирующих компонентов сплава в допустимых пределах;
- 3) варьирование количества примесей в допустимых пределах, в соответствии с установленными ГОСТом;
- 4) минимальная стоимость металлозавалки.

В этом случае задача оптимизации будет формализована следующим образом: определить оптимальный количественный состав (x_1, x_2, \dots, x_n) компонентов (q_1, q_2, \dots, q_n) сплава, если он может быть описан следующей целевой функцией:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = q_1 \cdot x_1 + q_2 \cdot x_2 + \dots + q_n \cdot x_n = \sum_{i=1}^n q_i \cdot x_i \rightarrow \min.$$

При этом определена система ограничений

$$a_{i1} \cdot x_1 + a_{i2} \cdot x_2 + \dots + a_{in} \cdot x_n \{Z_i\} b_i \quad \forall i \in [1..m]$$

и граничные условия

$$x_j \geq 0 \quad \forall j \in [1..n],$$

где Z_i – отношение сравнения («больше», «меньше», «больше либо равно», «меньше либо равно»);

a_{ij} и b_i – соответственно, коэффициенты содержания соответствующих компонентов в шихте и сплаве.

Очевидно, что имеем задачу линейной оптимизации, а следовательно, модель ее решения может быть получена с использованием разработанного нами универсального конфигуратора параметров целевой функции.

Примечания:

1. Коврига Е.В. Термодинамика растворов кислорода, элементов-раскислителей и легирующих элементов в металлических расплавах на основе железа: дис. ... канд. хим. наук. Краснодар, 2006. 182 с.
2. Растворимость кислорода и активность элементов в Fe-Ni-Mn расплавах / В.Н. Данилин, Е.В. Коврига, В.И. Бондаренко, В.Е. Шевцов // Объединенный научный журнал. Москва: Тезарус, 2002. № 10 (33). С. 57–63.
3. Горovenko Л.А. Математические методы компьютерного моделирования физических процессов // Международный журнал экспериментального образования. Пенза: Академия естествознания, 2017. № 2. С. 92–93.
4. Стадник В.С., Горovenko Л.А. Многокритериальные задачи принятия решений в процессе технологической подготовки производства // Прикладные вопросы точных наук: материалы Первой Междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов, преподавателей. Армавир: Типография им. Г. Скорины, 2017. С. 72–78.

References:

1. Kovriga E.V. Thermodynamics of oxygen solutions, deoxidizing elements and alloying elements in iron-based metal melts: Diss. for the Cand. of Chemistry degree. Krasnodar, 2006. 182 pp.
2. Oxygen solubility and element activity in Fe-Ni-Mn melts / V.N. Danilin, E.V. Kovriga, V.I. Bondarenko, V.E. Shevtsov // United scientific journal. M.: Tezarus, 2002. No. 10 (33). P. 57–63.
3. Gorovenko L.A. Mathematical methods of computer modeling of physical processes // International Journal of Experimental Education. Penza: Academy of Natural Sciences, 2017. No. 2. P. 92–93.
4. Stadnik V.S., Gorovenko L.A. Multicriteria problems of decision-making in the process of technological preparation of production // Applied issues of exact Sciences: Materials of the First International scient. and pract. conference of students, postgraduates and teachers. Armavir: Printing House named after G. Skorina, 2017. P. 72–78.