

Рис. 6. Графическая интерпретация суммарная занятости каналов и буфера

Список используемых источников

1. Sheldon, M.R. *Simulation* / M. Sheldon. – Imprint: Academic Press, 2012. – 328 p.
2. Калашников, В.В. Организация моделирования сложных систем / В.В. Калашников. – М.: Знание, 1982. – 62с.
3. Gentle, J.E. *Random number generation and Monte Carlo methods* / J.E. Gentle. – New York: Statistics and Computing, 2003. – 381 p.
4. Баврин И.И. Теория вероятностей и математическая статистика / И.И.Баврин – М.: Высшая шк., 2005. – 160 с.
5. Климов Г.П. Теория массового обслуживания / Г.П. Климов – Изд-во МГУ, 2011. – 312 с.
6. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем. Искусство и наука / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
7. Крылов С.М. Неокибернетика: алгоритмы, математика эволюции и технологии будущего / С.М. Крылов – ООО «Издательство ЛКИ». – 208. – 499 с.
8. Очков, В.И. *Mathcad 14 для студентов, инженеров и конструкторов* / В.И. Очков. – СПб.: BHV-Петербург, 2007. – 497 с.
9. Захарикова Е.Б. Разработка программного обеспечения для исследования сетей массового обслуживания / Е.Б. Захарикова // Имитационное моделирование. Теория и практика: материалы V (юбилейной) Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности. – СПб., 2011. – С. 96-97.
10. Захарикова, Е.Б. Имитационное моделирование систем и сетей массового обслуживания средствами приложения к пакету Mathcad / Е.Б. Захарикова, П.П. Макарычев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 3. – С. 29-37.
11. Пашенко, Д.В. Проблемы построения многопоточной модели программного обеспечения экспертной системы авиационных радиолокационных комплексов // Д.В. Пашенко, Д.А. Крокоз // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 2. – С. 21-29.
12. Haas, Peter J. (Peter Jay) *Stochastic Petri nets : modelling, stability, simulation* / Peter J. Haas. // Springer-Verlag New York, Inc., 2002. – 509 p.

Макарычев Петр Петрович – д-р техн. наук, проф., Почетный работник высшего профессионального образования, заведующий кафедрой «Математическое обеспечение и применение ЭВМ» ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет». *E-mail: makpp@yandex.ru.*

Захарикова Елена Борисовна – к-т техн. наук, программист ООО «Алгоритм-Сервис». *E-mail: rabbit7@live.ru.*

Макарычев П.П., Захарикова Е.Б. Математическое и алгоритмическое обеспечение программы имитационного моделирования динамических систем // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2014. – №2. – С. 45-54.

Makarychev, P.P. and Zakharikova, E.B., 2014. Mathematical and algorithmic support of software for simulation dynamic systems. Software of systems in the industrial and social fields, 2: 45-54.

УДК 519.688

РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА РЕШЕНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТА СТРУКТУРЫ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Логунова О.С., Сибилева Н.С., Павлов В.В.

Аннотация. В работе представлены результаты решения многокритериальной задачи оптимизации определения структуры шихтовых материалов дуговой сталеплавильной печи с помощью трех методов: метод уступок, метод свертки и метод ограничений. Особенностью рассматриваемой задачи является наличие эмпирической системы, включающей целевую функцию, систему ограничений и последовательность двух взаимосвязанных

задач. Для решения задачи был разработан программный продукт, позволяющий выполнить автоматизированный ввод данных, определение порядка решения задач, назначение уступок, весовых коэффициентов и уступок. **Ключевые слова.** Многокритериальная оптимизация, структура шихтовых материалов, дуговая сталеплавильная печь, метод ограничений, метод последовательных уступок, метод свертывания критериев, программное обеспечение для решения многокритериальной задачи оптимизации.

**THE RESULTS OF COMPARATIVE ANALYSIS OF SOLVING MULTICRITERIA PROBLEMS
OPTIMIZATION FOR CALCULATION THE STRUCTURE OF CHARGE MATERIALS FOR ELECTRIC
ARC FURNACE**

Logunova O.S., Sibileva N.S., Pavlov V.V.

Abstract. The article presents the results of solving of multicriteria problems optimization for determine the structure of charge materials for electric arc furnace using three methods: a method of concessions, a method of convolution and a method of restrictions. The feature of this task is the availability of empirical system, which includes the goal function, the system of constraints and the sequence of two interrelated tasks. For solving this task was developed a software, which allows to perform automatic data input, to determine the order of solving tasks, to assign the concessions and weighting coefficients.

Keywords. Multiobjective optimization, the structure of charge materials, electric arc furnace, a method of restrictions, a method of concessions, a method of convolution, software for solving multiobjective optimization problem.

Введение

Авторами работ [1, 2] была исследована технология выплавки стали в дуговых печах переменного тока. В результате экспериментальных наблюдений были зафиксированы сведения о влиянии структуры используемого сырья на формирование остаточных элементов в стали. Обработка экспериментальных данных согласно стратегии, изложенной в [3], позволила получить формальную постановку двух взаимосвязанных задач многокритериальной оптимизации.

Особенностью полученных задач является: наличие двух задач многокритериальной оптимизации: решение первой задачи передается как исходные данные для второй задачи; каждая из задач является многокритериальной; каждая из задач содержит систему ограничений, которая получена на основе системы взаимосвязанных эмпирических зависимостей.

Решение многокритериальных задач допускает использование множества способ решения. Наиболее распространенными из них являются: метод уступок, метод свертки и метод ограничений. Алгоритмы реализации этих методов подробно изложены в [4 – 6]. Все указанные методы основаны на преобразовании нескольких критериев оптимизации к одному, и процесс данного преобразования, а также результат решения задачи существенно зависят от участия эксперта. Поэтому возникает проблема в оценке достоверности и точности прогноза технологических параметров, найденных различными способами решения задачи многокритериальной оптимизации и допущений, принятых экспертами.

Анализ существующих научных трудов показал, что в настоящее время не представлено работ по оптимизации состава шихтовых материалов с позиции минимального содержания в готовой стали остаточных элементов. В большинстве своем оптимизация состава шихтовых материалов проводится исходя из необходимости сокращения затрат на покупку, транспортировку материалов.

Учитывая сформулированную проблему, была определена цель исследования: повышение точности, полноты и достоверности прогноза значений технологических параметров плавки в дуговой сталеплавильной печи, в частности, значений остаточных элементов (хрома, никеля и меди) в готовой стали посредством автоматизированного решения многокритериальной задачи оптимизации.

Для достижения поставленной цели в работе были решены задачи:

- анализ методов и средств решения задач многокритериальной оптимизации в металлургической промышленности;
- анализ программных продуктов для решения задач многокритериальной оптимизации;
- исследование математической модели задачи многокритериальной оптимизации для определения структурного состава металлического лома;

- проектирование и разработка программного продукта для решения задачи многокритериальной оптимизации;
- проведение вычислительного эксперимента с использованием программных средств.

Учитывая, что постановка задачи была определена в работах [1] и [2], приведем результаты работ, по задачам.

Методы

Авторами работы был произведен анализ методов и средств решения задач многокритериальной оптимизации [7, 8]. В результате анализа существующих методов решения, были выбраны три варианта для данной задачи. Существующие программные средства для решения задач многокритериальной оптимизации имеют широкий функционал, но чем больше этот функционал, тем выше стоимость программного продукта. Наиболее распространенными средствами для решения задач многокритериальной оптимизации считаются: *Microsoft Office Excel*, *MathCAD*, *MATLAB*, *AnyLogic*. В табл. 1 приведены результаты оценки достоинства и недостатков перечисленных программных продуктов и сложности, связанные с их применением для решения взаимосвязанных задач.

Таблица 1

Результаты оценки достоинства и недостатков типовых программных продуктов для решения взаимосвязанных многокритериальных задач оптимизации

№	Название программного продукта	Достоинства	Недостатки	Сложности для применения
1	<i>Microsoft Office Excel</i>	Указание нескольких адресов изменяющих значения ячеек. Просмотр отчетов по решению	Решение задач только одномерной оптимизации. Значительное время для ввода данных в более сложных задачах. Продукт является коммерческим и его стоимость версии 2013 г составляет 4899,00 руб.	Формирование системы ограничений для последующей задачи возможно только в интерактивном режиме. Ограниченное количество переменных – не более 200
2	<i>MathCAD</i>	Решение задачи оптимизации несколькими способами. Применение для широкого круга задач	Возможно только решение задач одномерной оптимизации. Продукт является коммерческим и стоимость индивидуальной лицензии составляет 56500 руб.	Формирование системы ограничений для последующей задачи возможно только в интерактивном режиме. Ограниченное количество переменных – не более 100. Необходимость использования элементов языка программирования
3	<i>MATLAB</i>	Интерактивная среда. Алгоритмы для решения многих типов задач оптимизации	Высокая стоимость лицензии программного продукта. Стоимость базовой версии \$2150	Формирование системы ограничений для последующей задачи возможно только в интерактивном режиме. Ограниченное количество параметров функции – 10. Необходимость соблюдения синтаксиса встроенного языка программирования. Наличие ограничения на количество итераций – 500
4	<i>AnyLogic</i>	1. Параллельное проведение вычислительного эксперимента при наличии нескольких ядер процессора	Высокая стоимость ПП. Лицензия <i>AnyLogic Professional</i> имеет стоимость 399 800 руб. за шт.	Формирование системы ограничений для последующей задачи возможно только в интерактивном режиме. Необходимость соблюдения синтаксиса встроенного языка программирования <i>Java</i> . Необходимость знаний о построении и использовании объектов (агентов, ресурсов), их свойств, методов и событий

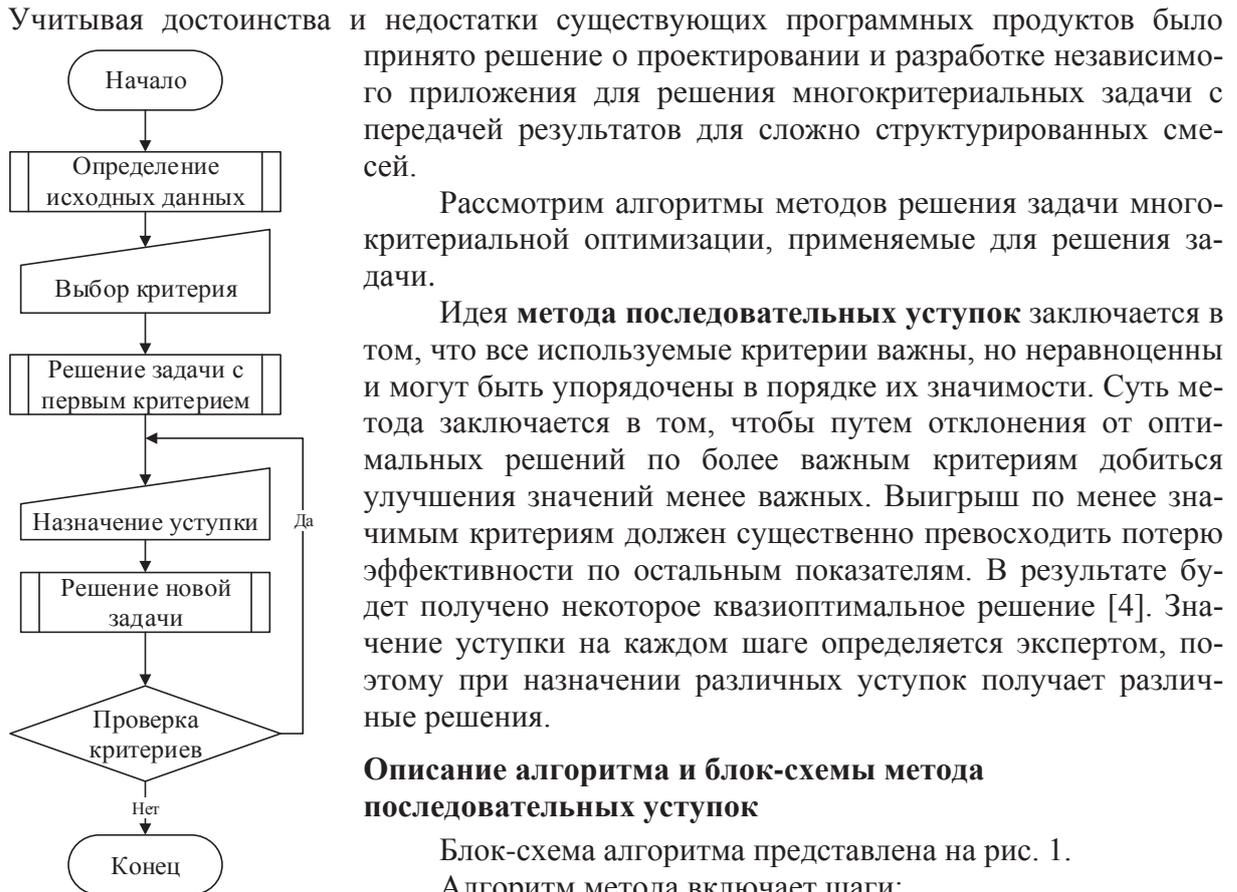


Рис. 1. Блок-схема алгоритма для реализации метода последовательных уступок

- 1) упорядочить критерии f_1, f_2, \dots, f_p в порядке уменьшения их значимости;
- 2) решить задачу однокритериальной оптимизации по 1-му критерию:

$$Y_1^* = \max_{X \in D} f_1(X); \tag{1}$$

- 3) назначить допустимую уступку ΔY_1 по главному критерию и решить задачу однокритериальной оптимизации по 2-му критерию, добавив в систему ограничений дополнительное ограничение:

$$\begin{aligned} Y_1^* &= \max_{X \in D} f_1(X), \\ f_1(X) &\geq Y_1^* - \Delta Y_1. \end{aligned} \tag{2}$$

- 4) назначить допустимую уступку ΔY_2 по второму критерию и решить задачу однокритериальной оптимизации по 3-му критерию, добавляя еще одно дополнительное ограничение:

$$\begin{aligned} Y_3^* &= \max_{X \in D} f_3(X), \\ f_1(X) &\geq Y_1^* - \Delta Y_1, \\ f_2(X) &\geq Y_2^* - \Delta Y_2. \end{aligned} \tag{3}$$

- 5) продолжать решение, пока не будет решена задача однокритериальной оптимизации по последнему критерию.

Метод ограничений предназначен для отыскания справедливого компромиссного решения, то есть такого решения, для которого относительный уровень снижения качества по одному или нескольким частным критериям не превосходит относительного уровня повышения качества по остальным частным критериям [5, 9]. В связи с этим для решения задачи необходимо будет ограничивать область допустимых значений функции цели множества $f(X)$ с помощью параметра k_0 .

Описание алгоритма метода ограничений

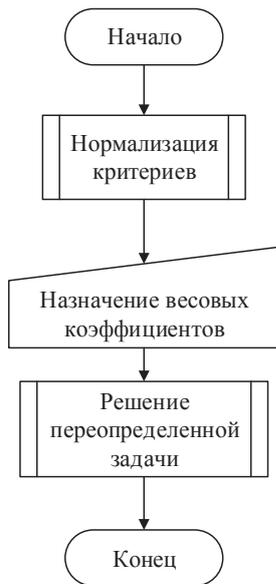


Рис. 2. Блок-схема алгоритма для реализации метода ограничений

Блок-схема алгоритма представлена на рис. 2.

Алгоритм метода включает шаги:

- 1) нормализовать частные критерии, приведя их к виду:

$$\omega_i(X) = \frac{f_i^{max}(X) - f_i(X)}{f_i^{max}(X) - f_i^{min}(X)}. \quad (4)$$

- 2) с помощью весовых коэффициентов задать значимость критериев друг перед другом, выраженных в количественной шкале. На вектор накладывается ряд ограничений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1, M} \rho_i = 1, \\ \rho_i > 0, \quad \forall i = \overline{1, M}. \end{cases} \quad (5)$$

- 3) переопределить исходную задачу, приведя ее к виду:

$$\begin{cases} \delta \rightarrow \min, \\ \rho_i \omega_i(X) \leq \delta; \quad i = 1, k, \\ AX \leq b, \\ X \geq 0, \quad \delta \geq 0. \end{cases} \quad (6)$$

- 4) решить переопределенную задачу.

В алгоритме введены обозначения: $f_i^{max}(X)$ – максимальное значение i -го критерия; $f_i(X)$ – i -й критерий; $f_i^{min}(X)$ – минимальное значение i -го критерия; ρ_i – весовые коэффициенты критериев; A – матрица системы ограничений; b – столбец свободных членов.

– минимальное значение i -го критерия; ρ_i – весовые коэффициенты критериев; A – матрица системы ограничений; b – столбец свободных членов.

Метод свертывания критериев предполагает преобразование набора имеющихся частных критериев в один глобальный критерий:

$$F(X) = \Phi(f_1(X), \dots, f_p(X)), \quad (7)$$

где функция Φ – функция свертки критериев.

Необходимо учесть тот факт, что свертываемые критерии должны быть однородны. Учет приоритетов критериев задается вектором весовых коэффициентов, которые задают важность критерия. Метод решения многокритериальных задач оптимизации методом свертки в работе представлен с помощью аддитивной свертки критериев.

Аддитивная свертка – реализация принципа справедливой компенсации абсолютных значений нормированных частных критериев. В этом случае глобальный критерий обычно строится как взвешенная сумма частных критериев [6, 10].

При этом, весовые коэффициенты выбираются таким образом, чтобы их сумма была равна единице.

Описание алгоритма метода свертки и блок-схема алгоритма

Блок-схема алгоритма представлена на рис. 3.

Алгоритм метода:

- 1) с помощью весовых коэффициентов задать значимость критериев друг перед другом, выраженных в количественной шкале;
- 2) осуществить сворачивание критериев с помощью аддитивной свертки:

$$F(A_j) = \sum_{j=1}^k \rho_j f_j(X_j); \quad (8)$$

- 3) решить переопределенную задачу.

Таким образом, мнение эксперта, выражающееся в назначении весовых коэффициентов или же назначении уступки, оказывает существенное влияние на

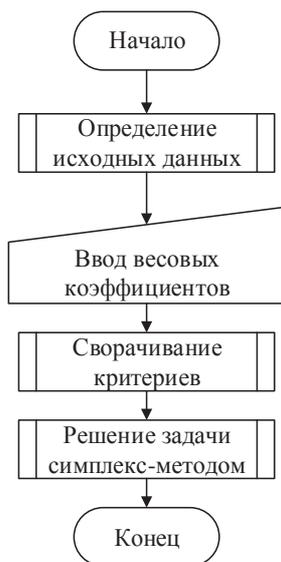


Рис. 3. Блок-схема алгоритма для реализации метода свертывания критериев

ход решения задачи в каждом из перечисленных методов решения.

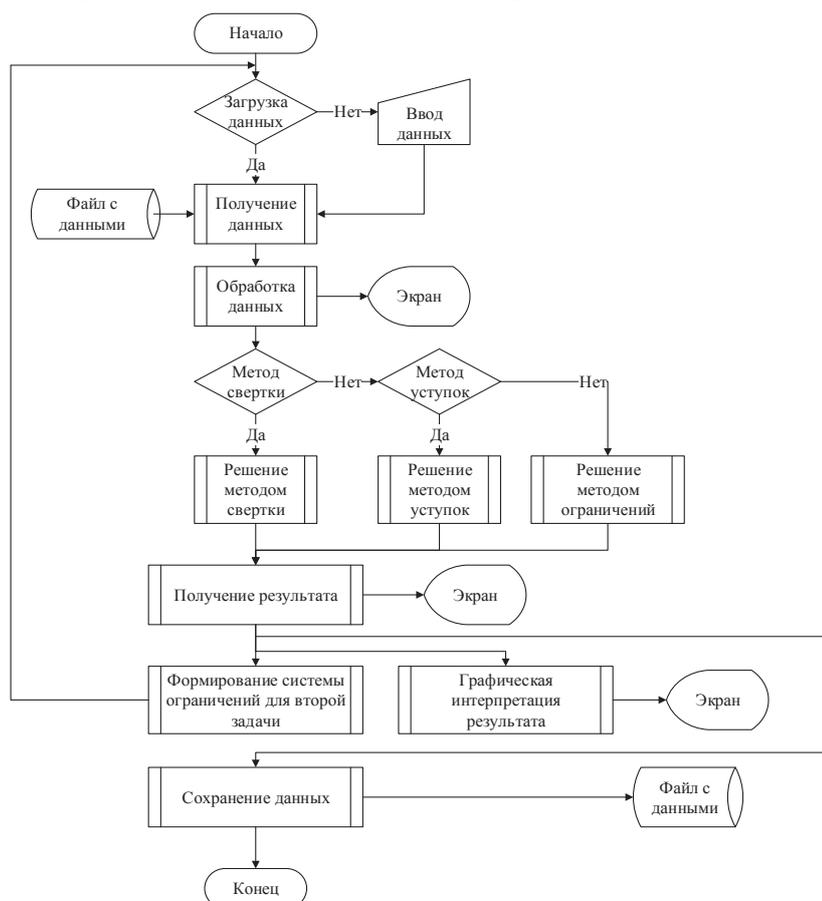


Рис. 4. Схема работы программного продукта «ORECS»

решения в первой, однако наличие решения в первой задаче не гарантирует существования решения во второй.

Связующим звеном этих задач является переменная, сопоставленная по смыслу с массой металлического лома, подаваемого в печь. В первой задаче необходимо вычислить массу металлического лома, а во второй – определить его структуру на основе имеющейся информации о долях лома каждого вида и масса лома, вычислена в первой задаче, выступает в качестве ограничения на суммарную массу всех структурных элементов. Нахождение этих должно осуществляться при условии минимизации содержания остаточных элементов в готовой стали, которые определяются эмпирическими зависимостями.

На рис. 4 приведена схема работы программного продукта «ORECS» для реализации решения двух взаимосвязанных задач оптимизации.

Блок получения данных отвечает за правильное распознавание введенных или загруженных данных. Рассмотрим порядок работы при загрузке данных из файла. Для того, чтобы программой данный файл был распознан корректно, необходимо, чтобы файл состоял из нескольких секций:

- секция [conditions] – ограничения;
- секция [equations] – целевые функции;
- секция [definitions] – дополнительные переменные;
- секция [targets] – кортеж переменных, подлежащих вычислению (возможно его последующее расширение);
- секция [declarations] – определение названий используемых переменных.

Использование подобных секций позволяет распознать, какие именно строки относятся к ограничениям, к целевым функциям и т.д. Таким образом, структура файла в общем случае

Результаты

Проектные решения для программного продукта «ORECS»

Корректная и полная постановка математической модели, а также оценка методов, которые могут быть использованы для решения задачи многокритериальной оптимизации позволила спроектировать и разработать программный продукт, позволяющий производить автоматизированный расчет решения взаимосвязанных задач.

Математическая модель задачи многокритериальной оптимизации состава шихтовых материалов была определена как последовательная, состоящая из двух подзадач. Решение второй задачи, возможно только при наличии

состоит из 5 вышеперечисленных секций. Секции могут быть расположены неупорядочено, одна и та же секция может объявляться несколько раз.

При первом запуске программного продукта открывается диалоговое окно выбора данных и метода расчета первой задачи, представленное на рис. 5. Пример загруженных из файла данных во фрагменте окна программного продукта представлен на рис. 6.

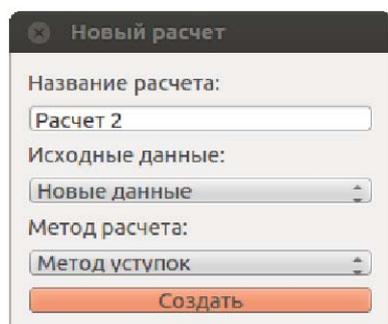


Рис. 5. Диалоговое окно выбора данных и метода расчета первой задачи

На рисунке изображены все используемые секции: справочник, уравнения, условия и дополнительные переменные.

Каждая из переменных кортежа, подлежащая вычислению, отмечена в справочнике галочкой. Кортеж можно расширить, проставив галочки напротив каждой из используемых переменных задачи.

Данные, загруженные из файла, возможно изменять непосредственно в программе, например, удалять строки, добавлять строки, изменять содержимое строк с помощью ручного ввода. При появлении новой переменной в секциях с условиями, уравнениями или дополнительными переменными, она будет автоматически добавлена в секцию

Справочник и программа не будет рассчитывать задачу до тех пор, пока не будет определено *Пояснение* для новой переменной. Таким образом, в программе реализован и ручной ввод данных задачи.

После получения хотя бы одного решения первой из двух многокритериальных задач, с помощью пункта меню «Продолжить расчет» можно приступить к решению заключительной задачи. Интерфейс диалогового окна выбора метода решения и данных для решения в совокупности с вектором d , представляющим собой минимальные доли металлического лома j -ого вида, поступившего в подготовительное отделение цеха, на основе которого, а также на основе массы лома, полученной в первой задаче, формируется система ограничений задачи 2 представлен на рис. 7.

Блок обработки данных является модулем, приводящим полученные данные к каноническому виду, который используется при решении задачи симплекс-методом.

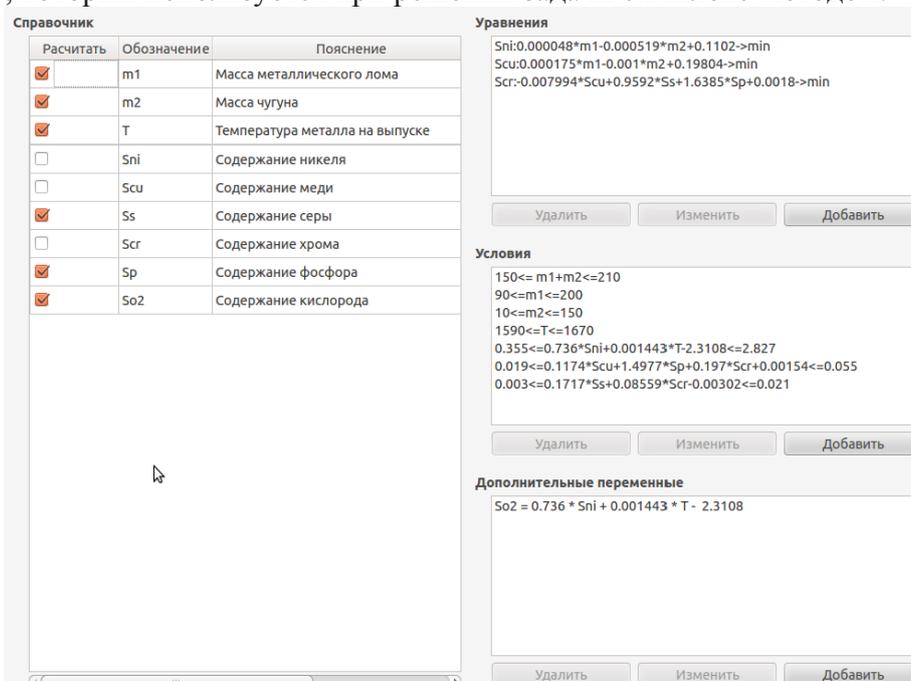


Рис. 6. Фрагмент окна программного продукта с исходными данными задачи

Блоки решения задачи методом свертки, методом уступок и методом ограничений отвечают за преобразование задачи многокритериальной оптимизации к задаче однокритериальной оптимизации в зависимости от выбранного метода.

Блок получения результата осуществляет решение переопределенной задачи симплекс методом.

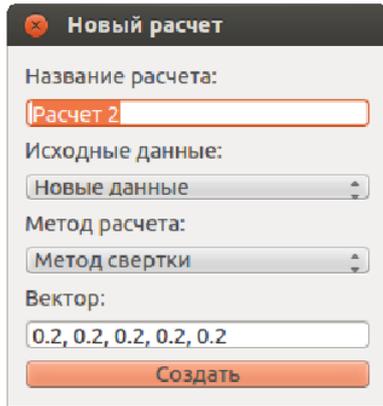


Рис. 7. Диалоговое окно выбора данных и метода расчета второй задачи

Блок формирования системы ограничений для второй задачи отвечает за определение системы ограничений для второй задачи, которые основываются на полученной в первой задаче массе лома, а также информации о количестве структурных частей лома.

Блок графической интерпретации результатов отвечает за построение различного вида зависимостей, необходимых для анализа полученного решения.

Блок сохранения данных необходим для записи полученного решения в структурированный файл.

Результаты тестовой эксплуатации программного продукта «ORECS» для стали марки Зсп

На примере постановки задачи для стали марки Зсп по ГОСТ 380, являющейся конструкционной углеродистой качественной и чьи эксплуатационные свойства сильно зависят от химического состава и структуры шихтовых материалов продемонстрируем результаты работы программного продукта «ORECS».

Согласно ГОСТ 380 содержание остаточных элементов в готовой стали данной марки не должно пре-

Таблица 2
Массовая доля остаточных элементов в стали марки 08Ю ВОВБ, %

Марка стали	Содержание элементов		
	[Cr], %	[Ni], %	[Cu], %
Зсп	0,30	0,30	0,30

вышать установленные значения, а именно указанные в табл. 2. Исходная задача состоит из двух подзадач, каждую из которых возможно решить тремя способами, и получено девять различных решений.

Первая подзадача, состоящая в определении массы металлического лома, определяемой производственными возможностями ДСП, при которой будет достигнуто минимальное значение процентного содержания остаточных элементов в готовой стали. Вторая подзадача состоит в определении структуры лома, масса которого была вычислена в первой задаче. Пример постановки задачи представлен в табл. 3.

Таблица 3

Постановки задачи многокритериальной оптимизации для стали марки 08Ю ВОВБ

Задача 1	Задача 2
<p>Требуется определить кортеж $(m_l, m_c, T, S_{O_2}, S_s, S_p)$ такой, чтобы</p> $S_{Ni} = 0,000048m_l - 0,000519m_c + 0,1102 \rightarrow \min,$ $S_{Cu} = 0,0000175m_l - 0,001m_c + 0,19804 \rightarrow \min,$ $S_{Cr} = 0,007994S_{Cu} + 0,9592S_s + 1,6385S_p + 0,0018 \rightarrow \min$ <p>при наличии системы ограничений:</p> $150 \leq m_l + m_c \leq 210,$ $90 \leq m_l \leq 200,$ $10 \leq m_c \leq 150,$ $1590 \leq T \leq 1670,$ $0,355 \leq S_{O_2} \leq 2,827,$ $0,019 \leq S_s \leq 0,055,$ $0,003 \leq S_p \leq 0,021.$ <p>где</p> $S_{O_2} = 0,736S_{Ni} + 0,001443T - 2,3108,$ $S_s = 0,1174S_{Cu} + 1,4977S_p + 0,197S_{Cr} + 0,00154,$ $S_p = 0,1717S_s + 0,08559S_{Cr} - 0,00302.$	<p>Требуется определить кортеж $(m_1, m_2, m_3, m_4, m_5)$ такой, чтобы</p> $m_{Cr} = \frac{0,1}{100}m_1 + \frac{0,15}{100}m_2 + \frac{0,3}{100}m_3 + \frac{0,15}{100}m_4 + \frac{0,1}{100}m_5 \rightarrow \min,$ $m_{Ni} = \frac{0,15}{100}m_1 + \frac{0,2}{100}m_2 + \frac{0,25}{100}m_3 + \frac{0,25}{100}m_4 + \frac{0,15}{100}m_5 \rightarrow \min,$ $m_{Cu} = \frac{0,15}{100}m_1 + \frac{0,2}{100}m_2 + \frac{0,15}{100}m_3 + \frac{0,2}{100}m_4 + \frac{0,15}{100}m_5 \rightarrow \min.$ <p>при наличии системы ограничений:</p> $\sum_{j=1}^5 m_j = m_l,$ $m_j \geq d_j m_l, j = \overline{1,5}.$ <p>где m_l является решением предыдущей задачи 1; $d = (0,2; 0,2; 0,2; 0,2; 0,2)$. Деление коэффициентов системы на 100 необходимо для перевода процентов в массовую долю.</p>

В табл. 3 введены обозначения при постановке задач: $m_{л}$ – масса металлического лома, т; $m_{ч}$ – масса чугуна, т; T – температура металла на выпуске, $^{\circ}C$; S_S – содержание серы, %; S_P – содержание фосфора, %; S_{O_2} – содержание кислорода, %; S_{Ni} – содержание никеля, %; S_{Cr} – содержание хрома, %; S_{Cu} – содержание меди, %; m_{Cr} – масса хрома; m_{Ni} – масса никеля; m_{Cu} – масса меди; d – доля металлического лома j -го вида; m_i – масса структурных элементов металлического лома: полосовой и сортовой лом (m_1), металлические конструкции (m_2), тонкие трубы (m_3), рельсы и накладки (m_4), лом автомобильный (m_5).

Рассмотрим полученные тремя методами решения первой задачи. Введем допущение, что все используемые критерии имеют одинаковую относительную важность. Для наглядности результаты решения задачи отображены в табл. 4. Необходимо определить кортеж ($m_{л}$, $m_{ч}$, T , S_{O_2} , S_S , S_P).

Таблица 4

Результаты решения задачи 1

Метод свертки	Метод уступок	Метод ограничений
Количество итераций: 13 Целевой кортеж: (90; 120; 1590; 0,355; 0; 0). Значения частных критериев: S_{Cu} : 0,094 S_{Cr} : -0,001 S_{Ni} : 0,052	Первый критерий: Количество итераций: 11 Целевой кортеж: (140; 10; 1590; 0; 0). Значения частных критериев: S_{Cr} : -0,001 Второй критерий: Количество итераций: 9 Целевой кортеж: (90; 120; 1590; 0,355; 0,035; 0,012). Значения частных критериев: S_{Ni} : 0,052 Третий критерий: Количество итераций: 11 Целевой кортеж: (90; 120; 1590; 0,355; 0; 0). Значения частных критериев: S_{Cu} : 0,094.	Количество итераций: 15 Целевой кортеж: (200; 10; 1590; 0,355; 0,14; 0,036). Значения частных критериев: S_{Cu} : 0,223 S_{Cr} : 0,194 S_{Ni} : 0,115

Проанализировав представленные решения, можно сделать вывод, что полученные методом свертки и методом уступок решения идентичны и входят в допустимый диапазон решений. С технологической точки зрения ведение плавки в соотношении 90 т лома и 120 т чугуна обеспечивает поступление химического и физического тепла, которое с одной стороны позволяет минимизировать затраты на нагрев плавки, но с другой стороны требует более интенсивной работы системы газоочистки. Этот режим работы ДСП в настоящее время не предусмотрен технологическими инструкциями ведения плавки. Соотношение в 200 т лома и 10 т чугуна является технологически не рациональным с точки зрения загрузки шихтовых материалов. Результаты, полученные методом ограничений, показали что, значения частных критериев получились чуть больше максимальных допустимых. Это говорит о том, что метод ограничений для решения задачи многокритериальной задачи при условии одинаковой относительной важности критериев непригоден.

Используя результаты решения задачи методом уступок, приведем полученные решения второй задачи также тремя методами. Также введем допущение, что все используемые критерии имеют одинаковую относительную важность и требуется определить кортеж (m_1 , m_2 , m_3 , m_4 , m_5). Результаты представлены в табл. 5.

Результаты, приведенные в табл. 4 и 5, показали различия в полученном решении как первой и второй задачи. Представление полученных результатов эксперту в области выбора структуры шихтовых материалов для дуговой сталеплавильной печи показало, что наиболее правдоподобные результаты получены при решении задачи 1 методом свертки и уступок и задачи 2 – методом свертки. С точки зрения быстродействия наиболее эффективным является метод свертки как для первой так и для второй задачи.

Технологическая оценка результатов показала, что в настоящее время не предусмотрены организационно-технологические мероприятия, с помощью которых можно выполнить

сортировку и оценку химического состава металлического лома в крупно тоннажном поточном металлургическом производстве. Полученные решения могут быть использованы в качестве рекомендаций для совершенствования технологий на этапе подготовительного производства материалов для ведения плавки в ДСП.

Таблица 5

Результаты решения задачи 2

Метод свертки	Метод ограничений	Метод уступок
<p>Количество итераций: 6</p> <p>Целевой кортеж: (36,0; 0,0; 18,0; 18,0; 18,0)</p> <p>Значения частных критериев: m_{Ni}: 0,171 m_{Cu}: 0,144 m_{Cr}: 0,135</p>	<p>Количество итераций: 8</p> <p>Целевой кортеж: (18,0; 18,0; 18,0; 18,0; 18,0)</p> <p>Значения частных критериев: m_{Ni}: 0,18 m_{Cu}: 0,153 m_{Cr}: 0,144</p>	<p>Первый критерий: Единый критерий: 0,144 Количество итераций: 6 Целевой кортеж: (36,0; 0,0; 18,0; 18,0; 18,0)</p> <p>Значения частных критериев: m_{Cu}: 0,144</p> <p>Второй критерий: Единый критерий: 0,135 Количество итераций: 6 Целевой кортеж: (36,0; 0,0; 18,0; 18,0; 18,0)</p> <p>Значения частных критериев: m_{Cr}: 0,135</p> <p>Решения по третьему критерию не существует.</p>

Заключение

Таким образом, авторами работы выполнен сравнительный анализ результатов решения многокритериальной задачи оптимизации при определении состава сложно структурированной смеси, которая является формализованной моделью состава шихтовых материалов для дуговой электросталеплавильной печи. Высокая трудоемкость решения задачи потребовала выполнить оценку существующих программных средств и выявленные недостатки показали необходимость проектирования и разработки независимого приложения, которое в последствии может быть использовано в рамках автоматизированного рабочего места инженера-технолога.

Полученные результаты показали, что рассмотренные и реализованные три стандартных метода решения многокритериальной задачи не всегда являются эффективными с точки зрения быстрейшего действия и наличия результата. Наиболее эффективно зарекомендовал метод свертки, который также с точки зрения эксперта дает более точные результаты.

Список использованных источников

1. Логунова, О.С. Опыт стабилизации остаточного содержания элементов в стали при использовании альтернативных материалов в металлошихте дуговой сталеплавильной печи / О.С. Логунова, В.В. Павлов. – Металлург, 2014. – № 4. – С. 75 – 79.
2. Pavlov, V.V. Charge melting materials selection procedure for eaf to work in power saving mode / V.V. Pavlov, O.S. Logunova. – World Applied Sciences Journal, 2014. – Vol. 31, N 8. – P. 1502-1507.
3. Логунова, О.С. Стратегия постановки задачи многокритериальной оптимизации состава шихтовых материалов для электродуговой сталеплавильной печи / О.С. Логунова, Е.Г. Филиппов, И.В. Павлов, В.В. Павлов. – Известия вузов. Черная металлургия, 2013. – № 1. – С. 66-70
4. Казанская, О.В. Методы оптимизации и теория принятия решений [Электронный ресурс] : Электронный учебно-методический комплекс / сост. О. В. Казанская, С. Г. Юн, О. К. Альсова. – Режим доступа: http://edu.nstu.ru/courses/mo_tpr/files/0.html.
5. Подиновский, В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 256 с. – ISBN 978-5-9221-0812-6.
6. Forsythe, G.E. Computer Methods for Mathematical Computations / G. E. Forsythe, M. A. Malcolm, C. B. Moler. – Prentice-Hall, 1976. – ISBN 978-0-131-65332-0.
7. Киселева, М.В. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic : учебно- методическое пособие / М. В. Киселева. – УГТУ - УПИ.– Екатеринбург, 2009. – 88 с.

8. Caramia, M. Multi-objective Management in Freight Logistics Increasing Capacity, Service Level and Safety with Optimization Algorithms / M. Caramia, P. Dell'Olmo. – Springer Science+Business Media, 2008. – ISBN 978-1-84800-381-1.
9. Eichfelder, G. Adaptive Scalarization Methods in Multiobjective Optimization / G. Eichfelder. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. – ISBN 978-3-540-79157-7.
10. Marler, R.T. Survey of multi-objective optimization methods for engineering / R.T. Marler, J.S. Arora. – Structural and Multidisciplinary Optimization, 2004. – No. 26. – P. 369–395.

Логунова Оксана Сергеевна – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: logunova66@mail.ru.

Сибилева Наталья Сергеевна – магистрант кафедры вычислительной техники и программирования ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: natus224@gmail.com.

Павлов Владимир Викторович – ведущий инженер технолог электросталеплавильной лаборатории Научно-технического центра ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Логунова О.С., Сибилева Н.С., Павлов В.В. Результаты сравнительного анализа решения многокритериальной задачи оптимизации для расчета структуры шихтовых материалов дуговой сталеплавильной печи // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2014. – №2. – С. 54-64.

Logunova, O.S., Sibileva, N.S. and Pavlov, V.V., 2014. The results of comparative analysis of solving multicriteria problems optimization for calculation the structure of charge materials for electric arc furnace. Software of systems in the industrial and social fields, 2: 54-64.

УДК 66.041.2-52

ГАЗОВОЛЮМЕТРИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКРЫТОЙ ПОРИСТОСТИ, СВЯЗАННЫЙ С ИЗМЕРЕНИЕМ ОБЪЁМА СКЕЛЕТА КЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

Шамирзаев С.Х., Абдугафуров А.М., Леднов А.В.

Аннотация. Существующий газоволюметрический способ определения открытой пористости, связанный с измерением объёма скелета кернового материала, не позволяет получать необходимые экспрессность и точность измерения. В работе предлагается математическая модель и принципиальная схема автономного прибора для определения открытой пористости кернового материала с применением микропроцессорной техники, рассматриваются вопросы подготовки эталонных образцов.

Ключевые слова. Пористость, точность измерения, автоматизированная установка.

GAZOVOLYUMETRICHESKY METHOD FOR DETERMINING OPEN POROSITY ASSOCIATED WITH THE MEASUREMENT OF CORE MATERIAL VOLUME SKELETON

Shamirzaev S.H., Abdugafur A.M., Lednov A.V.

Abstract. Gazvolumetric method for determining open porosity associated with the measurement of core material volume skeleton. In this paper, we propose a mathematical model and the concept of an autonomous instrument for determining the open porosity of core samples using microprocessor technology, to consider the preparation of reference samples.

Keywords. Porosity, accuracy, automated installation.

Актуальность работы

Существующий газоволюметрический способ определения открытой пористости, связанный с измерением объёма скелета кернового материала не позволяет получать необходимые экспрессность и точность измерения. Это связано с использованием квазистатических процессов, что при отсутствии микропроцессорной техники приводит к необходимости тщательного термостатирования в течении длительного времени.

Целью данной работы является создание макета автономного прибора для определения открытой пористости кернового материала с применением микропроцессорной техники, позволяющей встроить вычислитель и управление непосредственно в прибор и обойтись без применения компьютера [1].

Основные проблемы и решения

Современные микропроцессоры и микроконтроллеры имеют достаточные ресурсы и быстродействие для проведения сложных вычислений и управления установкой в ходе всего