

МНОЖЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПИСАНИЯ СОСТАВА И ТРАНСФОРМАЦИИ СЛОЖНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ СМЕСИ

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

*ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия

**ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск, Россия

В работе представлено описание состава сложноструктурированной смеси, изменяющей свою структуру под воздействием множества внешних воздействий, в терминах теории множеств. Модель множества, которая была получена благодаря проведенному исследованию, представлена как в аналитической форме, так и в графической форме в виде многослойного графа. Полученное множество состоит из кортежей переменной длины в 3D пространстве. В соответствии с построенной моделью был определен состав каждого из множеств применительно к задаче определения структуры шихтовых материалов для дуговой сталеплавильной печи, что, в свою очередь, позволило осуществить постановку математической модели формирования остаточных элементов (хрома, никеля и меди) в готовой стали. Математическая модель состоит из двух последовательных задач многокритериальной оптимизации.

Ключевые слова: теория множеств, сложно-структурированная смесь, многослойный граф, структура шихтовых материалов, дуговая сталеплавильная печь.

The article presents the description of complex structured mixture, changing its structure under the influence of the multitude of external attacks, in terms of multitude theory. Model of the multitude, which has been received during the research, is represented not only in the analytical form, but also in graphical form of the multilayer diagram. The received multitude consists of the tuples, which has a variable length in the 3D space. According to developed technique the composition of each multitude in connection with the task of solving the structure of charging materials for electric arc furnace was determined. In its turn it made possible to set a mathematical model of forming the residual elements (chrome, nickel and cuprum) in steel. Mathematical model consists of two interrelated tasks of multicriteria optimization.

Keywords: multitude theory, the complex structured mixture, multilayer diagram, the structure of charging materials, electric arc furnace.

Введение

Присутствие сложноструктурированных смесей, изменяющих под комплексом воздействий свои свойства и структуру, в большом количестве прикладных областей, таких как металлургия, фармацевтика, строительство, химия, делает необходимым выявление взаимосвязи между структурой смеси на входе и на выходе, а также набором трансформирующих воздействий. Определение качественных и количественных взаимосвязей возможно установить на основе исследования эмпирических данных, получаемых в ходе мониторинга процесса [1, 2]. Это необходимо для построения математических моделей изменения состава смеси и прогнозирования наиболее вероятного ее состава на основе эмпирических данных, которые

позволят решить задачи изменения структуры смеси в условиях, в которых невозможно выполнить аналитическое описание процесса. В результате возможно построение общей методики работы со сложноструктурированными смесями, а также разработка алгоритмов для работы с последовательными многокритериальными задачами оптимизации, изучаемых на примере их использования в задачах трансформации сложноструктурированной смеси.

Математические методы, выступающие в качестве области исследования, а также объект исследования, представляющий собой сложноструктурированную смесь, в совокупности позволяют выделить предмет исследования – информационное, математическое и программное обеспечение процесса трансформации сложноструктурированной смеси, для достоверного и полного исследования которого будет произведен теоретико-множественный анализ задачи трансформации сложноструктурированной смеси и разработаны необходимые алгоритмы и модели.

Методы

В рамках работы сложноструктурированная смесь – это набор компонентов, которые составляют части выбранного объема, и каждый компонент представлен в виде набора частей, составляющих единое целое на основе химического соединения или простого смешения элементов. Примером сложно-структурированной смеси является шихта металлургических печей, которая компонуется из нескольких видов материалов (металлический лом, жидкий чугун, известь, известняк и т.п.) и каждый материал в свою очередь имеет заранее известный химический состав (железо, углерод, марганец, сера, фосфор и т.п.).

На рис. 1 приведена структура сложноструктурированной смеси, которая изменяет свою структуру под воздействием внешнего воздействия.

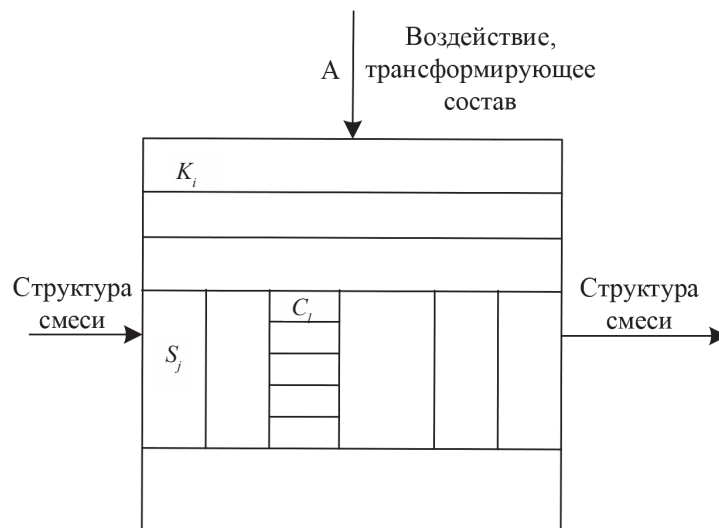


Рис. 1. Схема трансформации сложноструктурированной смеси

Пусть сложноструктурированная смесь содержит n основных компонентов, образующих множество $K = \{K_i\}$, где $i = 1 \dots n$. Каждый компонент K_i в своем составе имеет множество элементов, причем в каждом элементе это множество может иметь различное количество компонентов. Получим множество составляющими $K_i = \{S_{ij}\}$, где $i = 1 \dots n$ и $j = 1 \dots m_j$. Каждый элемент S_{ij} в свою очередь является множеством, в состав которого входит q_l элементов, состоящим из $S_{ij} = \{C_{ijl}\}$, где $i = 1 \dots n, j = 1 \dots m_j$ и $l = 1 \dots q_l$.

Под множеством воздействий $A = \{A_p\}$, где $p = 1 \dots k_p$ в смеси протекают химические реакции и происходит перемешивание. В результате смесь изменяет свою структуру и свойства. Количественное описание вида воздействия выполняется на основе эмпирических зависимостей и их систем.

На выходе после трансформации будет получена новая смесь K' с новой структурой.

При введенных обозначениях получим математическую модель состава и трансформации сложноструктурированной смеси в виде отображения множеств (1):

$$K = \left\{ K_i = \left\{ S_{ij} = \left\{ C_{ijl} \right\} \right\} \right\} \xrightarrow{A = \left\{ A_p \right\}} K', \quad (1)$$

где $i = 1 \dots n, j = 1 \dots m_j, l = 1 \dots q_l$.

В результате получили множество, состоящее из кортежей переменной длины, в 3D пространстве, графическое представление которого отражено на рис. 2.

В качестве примера получения исходных данных можно рассмотреть использование смесей в металлургии.

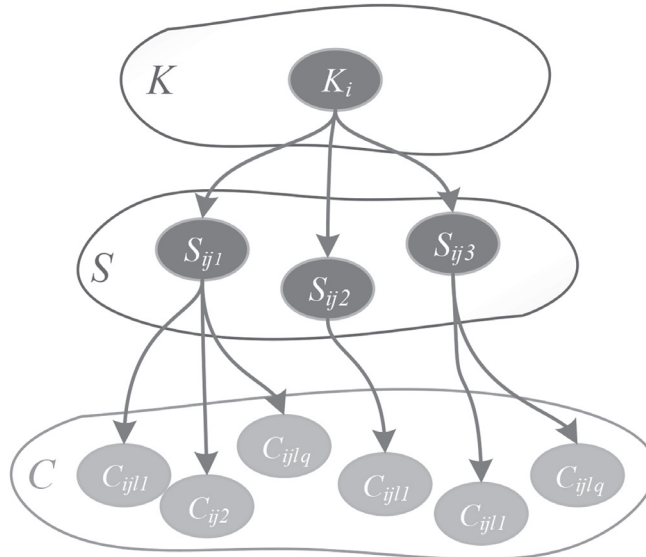


Рис. 2. Графическое изображение множества в пространстве

Результаты

В ходе экспериментальных исследований в производственных условиях при изучении трансформации шихтовых материалов дуговой сталеплавильной печи [3] была получена эмпирическая информация, структура которой представлена на рис. 3.

Здесь $m_{мл}$, $m_{ГБЖ}$, $m_{ЖЧ}$, $m_{ТЧ}$ – масса составляющих шихтовых материалов: металлического лома, горячебрикетированного железа (ГБЖ), жидкого чугуна (ЖЧ) и твердого чугуна (ТЧ) соответственно, t ; t_1 – время цикла плавки, мин; t_2 – время нахождения дуги под током, мин; R – удельный расход электроэнергии, кВт/т; $[Cr]$, $[Ni]$, $[Cu]$ – процентное содержание остаточных элементов в готовой стали, %; $T_{вых}$ – температура готовой стали на выходе из ДСП, °С. Дополнительно на основе представленной информации рассчитываются общая масса шихты в металлозавалке, t ; доля каждого компонента шихты в общей массе; доля твердой фазы в металлозавалке. Значения всех показателей фиксируются в реальном времени, передаются в корпоративное Хранилище ERP и извлекается службами контроля и диагностики по мере формирования локальной базы данных для проведения статистического исследования процесса выплавки стали.

В соответствии с построенной моделью состав каждого множества на примере описания структуры шихтовых материалов будет определяться следующим образом.

Сложноструктурированная смесь – плавка в дуговой сталеплавильной печи представляет собой множество K , которое состоит из четырех основных компонентов: K_1 – «структура шихты», K_2 – «параметры электроэнергии», K_3 – «химический состав», K_4 – «температурный режим». Перечисленные основные компоненты образуют множество $K = \{K_i\}$, где $i = 1 \dots 4$.

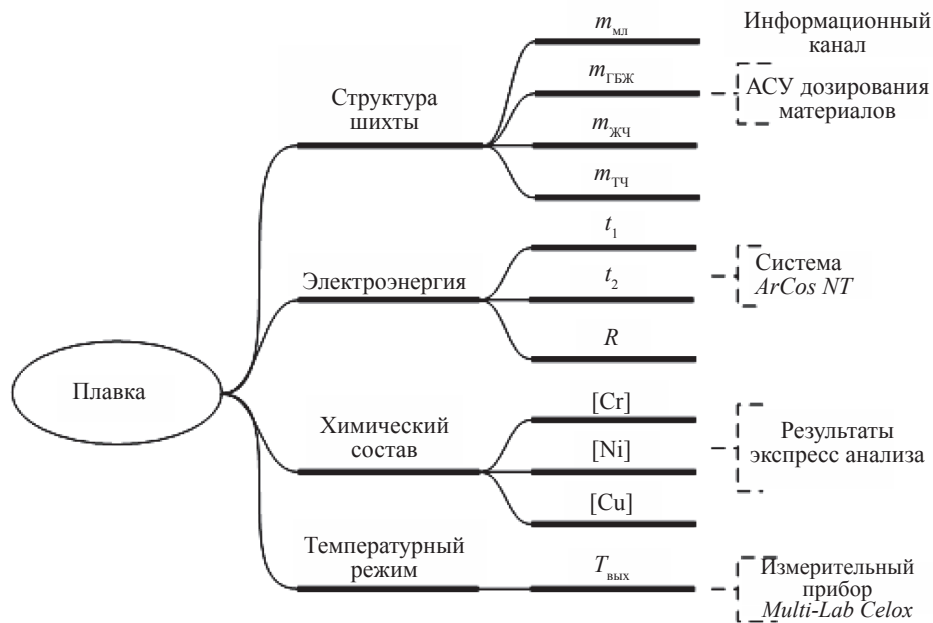


Рис. 3. Структура информации о плавке стали в дуговой сталеплавильной печи

Каждый из указанных четырех основных компонентов состоит из определенного числа элементов.

Компонент «структура шихты» содержит в себе 4 элемента – массы составляющих шихтовых материалов: S_{11} – масса металлического лома, S_{12} – масса горячебрикетированного железа, S_{13} – масса жидкого чугуна и S_{14} – масса твердого чугуна. Перечисленные составляющие образуют множество $K_1 = \{S_{1j}\}$, где $j = 1 \dots 4$.

Компонент «параметры электроэнергии» содержит в себе 3 элемента: S_{21} – «время цикла плавки», S_{22} – «время нахождения дуги под током», S_{23} – «удельный расход электроэнергии». Перечисленные составляющие образуют множество $K_2 = \{S_{2j}\}$, где $j = 1 \dots 3$.

Компонент «химический состав» содержит в себе 3 элемента: S_{31} – «процентное содержание хрома в готовой стали», S_{32} – «процентное содержание никеля в готовой стали», S_{33} – «процентное содержание меди в готовой стали». Перечисленные составляющие образуют множество $K_3 = \{S_{3j}\}$, где $j = 1 \dots 3$.

Компонент «температурный режим» содержит в себе 1 элемент S_{41} – «температура готовой стали на выходе из ДСП» и образует множество $K_4 = \{S_{42}\}$.

Обобщение

Исследование перечисленных выше показателей позволило построить математическую модель формирования остаточных элементов, которая состоит из двух последовательных задач многокритериальной оптимизации [3, 4]. В первой задаче определяется масса металлического лома, подаваемого в ДСП, при которой достигается минимальное значение для процентного содержания хрома, никеля и меди в расплаве при наличии ограничений на суммарную массу лома и чугуна, определенную производственными возможностями ДСП. Во второй задаче определяется массовая структура металлического лома, масса которого вычислена в первой задаче. При этом массовая структура должна позволять получить минимальное содержание хрома, никеля и меди при наличии ограничений на исходный и получаемый химический состав стали.

Список использованных источников

1. V. R. Basili, D. Rombach, K. Schneider, B. Kitchenham, D. Pfahl, R. W. Selby, *Empirical Software Engineering Issues. Critical Assessment and Future Directions*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. – Vol. 4336. – P. 22.
2. I.I. Matsko, Y.V. Snegirev, O.S. Logunova, *Data acquisition and preparation methods for continuously cast billets quality analysis software. Applied Mechanics and Materials*, 2012. Vol. 110-116. – P. 3557–3562.
3. O.S. Logunova, V.V. Pavlov: *Stabilizing the residual contents of elements in steel by using alternative materials in the metallic charge of an arc steelmaking furnace. Metallurgist*, 2014. Vol. 58(3-4). – P. 299–305.
4. O.S. Logunova, E.G. Filippov, I.V. Pavlov, V.V. Pavlov: *Multicriterial Optimization of the Batch Composition for Steel-Smelting Arc Furnace. Steel in Translation*, 2013. Vol. 43(1). – P. 34–38.