

УДК 669.162.262.4

**И. Г. Муравьева, Д. Н. Тогобицкая, Н. Г. Иванча, А. С. Нестеров****КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ВЫБОРА  
ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ШИХТЫ***Институт черной металлургии им.З.И.Некрасова НАН Украины*

Приведена концепция создания экспертной системы выбора оптимального состава многокомпонентной доменной шихты, основу которой составят: модели физико-химических превращений железосодержащих материалов, технологические критерии, модели загрузки и распределения шихтовых материалов, учитывающие распределение компонентов шихты по сечению доменной печи. Разрабатываемая система отличается от известных, основанных на прогнозном определении показателей доменной плавки при варьировании компонентного состава шихтовых материалов с использованием расчетов материально – тепловых балансов процесса. Приведена структурная схема решения задачи выбора оптимального состава шихты.

**Ключевые слова:** концепция, доменная шихта, выбор компонентов, оптимальный состав, экспертная система, критерии,

**Целью работы** является разработка сквозного алгоритма последовательности решения задачи выбора оптимального состава многокомпонентной шихты для доменной плавки. Создание такой экспертной системы выбора состава шихты основывается на разработанных Институтом черной металлургии моделях физико - химических превращений, технологических критериях, моделях загрузки и распределения шихтовых материалов, учитывающих распределение компонентов шихты по сечению доменной печи [1 - 3]. В настоящее время работа проводится тремя научными отделами института - ОТОСУ, ОФХП и ОМЧ.

**Изложение основных направлений и результатов исследования.** Разрабатываемая экспертная система отличается от известных разработок, основанных на прогнозном определении показателей доменной плавки при варьировании компонентного состава шихтовых материалов с использованием расчетов материально – тепловых балансов процесса. Алгоритмы системы предусматривают расчет показателей распределения свойств шихтовых материалов и образующихся расплавов по радиусу доменной печи на различных уровнях. Для этой цели используются математические модели формирования порций шихтовых материалов, их загрузки в доменную печь и распределения на колошнике, учитывающие условия загрузки шихтовых материалов конусным загрузочным устройством. Указанная модель обеспечивает возможность расчета параметров формируемых многокомпонентных порций шихтовых материалов, изменение распределения компонентов в объеме порций в процессе движения их по тракту загрузки (включая загрузочное

*«Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии»,  
Сборник научных трудов ИЧМ. – 2018. - Вып.32*

устройство), а также определение текущего компонентного состава потока шихты, выгружаемой загрузочным устройством в доменную печь, и показателей распределения компонентов по радиусу колошника. Полученные результаты математического моделирования процесса загрузки и распределения шихтовых материалов используются в качестве исходной информации физико-химической модели процессов направленного формирования расплавов в доменной печи.

Структурная схема сквозного алгоритма последовательности решения задачи выбора оптимального состава многокомпонентной шихты представлена на рисунке.

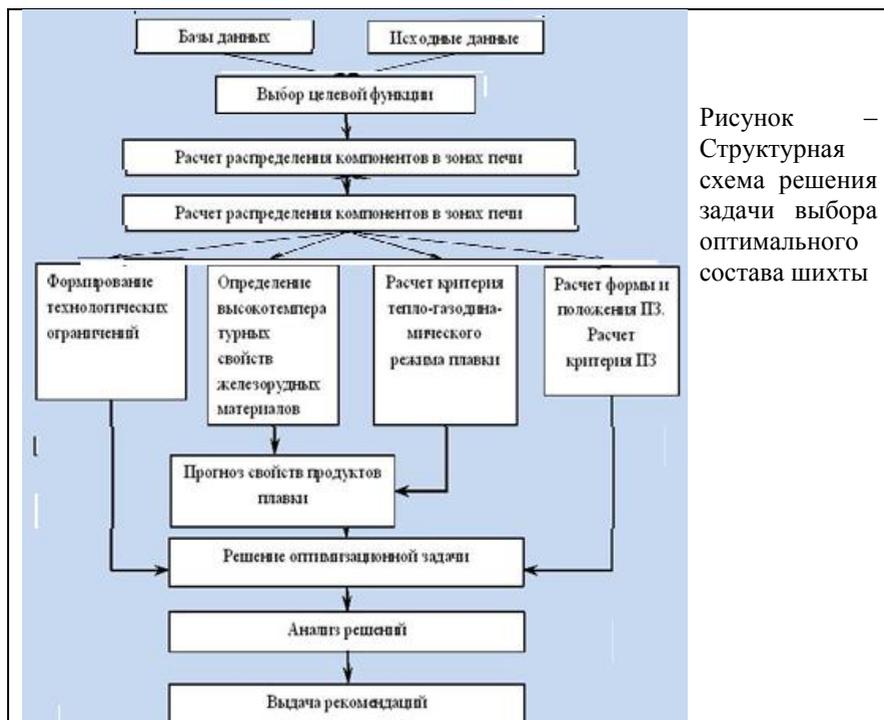


Рисунок – Структурная схема решения задачи выбора оптимального состава шихты

Для оценки особенностей и характеристик физико-химических превращений железорудных материалов в различных зонах печи применены прогнозные модели расчета высокотемпературных свойств железорудных материалов: температур начала размягчения, окончания размягчения, капельного течения и плавления, состава и свойств первичных шлаковых расплавов в зависимости от физико-химического эквивалента и показателя стехиометрии шлакообразующей составляющей шихты, а также содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{FeO}$ . Одним из этапов разработки

экспертной системы является уточнение математических и физико-химических моделей расчета высокотемпературных свойств шихтовых материалов и их смесей для современных условий многокомпонентной шихты, в том числе, включающей железоуглеродсодержащие брикеты. В прогнозных моделях, описывающих процессы формирования расплавов в высокотемпературных зонах печи, использован новый интегральный показатель температурно-дутьевого режима.

Учет особенностей распределения компонентов шихты по сечению доменной печи в модели физико-химических превращений железосодержащих материалов обеспечит возможность расчетной оценки высокотемпературных свойств образующихся смесей компонентов и их агрегатного состояния. Синтез моделей загрузки и распределения шихтовых материалов, моделей процессов доменной плавки, модели физико-химических превращений железосодержащих материалов, а также прогнозных моделей состава и комплекса свойств первичных и конечных шлаковых расплавов (вязкость, поверхностное натяжение, энтальпия, серопоглотительная способность, щелочная емкость и др.) позволит расширить возможности решения задачи векторной оптимизации состава шихты. Для этого использованы специальные алгоритмы векторной оптимизации состава шихты с применением ряда существенных ограничений.

Во - первых, в качестве ограничений задаются следующие физико-химические критерии: стабилизации интегрального показателя качества доменной шихты  $K_{\text{ш}}$  в заданных пределах; оптимизации шлакового режима по комплексу свойств конечного шлака (вязкости, энтальпии и серопоглотительной способности); ограничения содержания тугоплавкого минерала ларнита, лимитирующего гомогенность, серопоглотительную способность и щелочную емкость конечного доменного шлака; стабилизации щелочной нагрузки в заданных пределах; оценки температуры гетерогенизации конечных шлаков, характеризующей температуру начала образования кристаллических фаз в расплаве и определяющей минимально избыточную температуру для реализации его серопоглотительной способности.

Во-вторых, алгоритмы системы предусматривают учет технологических ограничений, для формализации которых используется комплексная математическая модель распределения компонентов шихтовых материалов по сечению печи.

Еще одним граничным условием решения оптимизационной задачи по выбору состава шихты является обеспечение заданного значения критерия оценки формы и положения пластичной зоны в доменной печи, рассчитываемого по специальным алгоритмам.

Таким образом, оптимальный состав многокомпонентной шихты определяется в результате решения задачи многокритериальной

оптимизации – путем нахождения компромисса между принятыми критериями оптимальности: физико-химическими, критерием оценки формы и положения пластичной зоны и технологическими ограничениями. В качестве целевых функций могут задаваться – минимизация расхода кокса, обеспечение заданного производства и минимизация себестоимости.

### **Заключение.**

Разрабатываемая экспертная система оптимизации состава шихты явится логическим развитием ранее разработанной интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению доменной плавкой, что позволит реализовать синтез указанных систем и существенно повысить возможности и интеллектуальный технологический потенциал интегрированной системы. Это обеспечит генерацию научно и технологически обоснованных рекомендаций и корректирующих мероприятий по управлению процессом доменной плавки путем направленного изменения компонентного состава загружаемых шихтовых материалов.

### **Библиографический список / Reference**

1. *Приходько Э. В.* Прогнозирование физико-химических свойств оксидных систем / [Э. В. Приходько, Д. Н. Тогобицкая, А. Ф. Хамхотько, Д. А. Степаненко]. – Днепропетровск: Пороги. – 2013. – 339 с.  
*Prikhod'ko E. V.* Prognozirovaniye fiziko-khimicheskikh svoystv oksidnikh sistem / [E. V. Prikhod'ko, D. N. Togobitskaya, A. F. Khamkhot'ko, D. A. Stepanenko]. – Dnepropetrovsk: Porogi. – 2013. – 339 s.
2. *Тогобицкая Д.Н.* Выбор состава доменной шихты, обеспечивающего направленное формирование жидких продуктов доменной плавки / [Д. Н. Тогобицкая, А. И. Белькова, Д. А. Степаненко и др.] - *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – Днепропетровск. – 2016. – № 3. – С. 11-18.  
*Togobitskaya D.N.* Vybora sostava domennoy shikhty, obespechivayushchego napravlennoye formirovaniye zhidkikh produktov domennoy plavki / [D. N. Togobitskaya, A. I. Bel'kova, D. A. Stepanenko i dr.] - *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. – Dnepropetrovsk. – 2016. – № 3. – S. 11-18.
3. *Complex Mathematical Model of the Distribution of Multicomponent Charge in a Blast Furnace* / [N.G. Ivancha, I.G. Murav'eva, E.I. Shumel'chik, V.I. Vishnyakov, Yu.S. Semenov] – *Metallurgist*, May 2018, Volume 62, Issue 1–2, pp. 95–100.

*Muravyeva I.G., Togobitskaya D.N., Ivancha N.G., Nesterov A.S.*

**The concept of creating an expert system for selecting the optimal composition of a multicomponent mixture**

The paper presents the concept of creating an expert system for selecting the optimal composition of a multicomponent domain mixture, the basis of which will be: models of physical and chemical transformations of iron-containing materials, technological criteria, models of loading and distribution of charge materials, taking into account the distribution of the components of the charge over the cross section of the blast furnace. The system being developed differs from the well-known, based on the determination of the forecast indicators blast furnace by varying the component composition of the raw materials using calculations of material - thermal balance of the process. A block diagram of the solution of the problem of choosing the optimal composition of the charge is given.

**Keywords: concept, domain charge, choice of components, optimal composition, expert system, criteria**

*Муравйова І.Г., Тогобицька Д.М., Іванча М.Г., Нестеров О.С*

**Концепція створення експертної системи вибору оптимального складу багатокomпонентної шихти**

Наведено концепцію створення експертної системи вибору оптимального складу багатокomпонентної доменної шихти, основу якої складуть: моделі фізико - хімічних перетворень залізовмісних матеріалів, технологічні критерії, моделі завантаження і розподілу шихтових матеріалів, що враховують розподіл компонентів шихти по перетину доменної печі. Система, що розробляється, відрізняється від відомих, заснованих на прогнозному визначенні показників доменної плавки при варіюванні компонентного складу шихтових матеріалів з використанням розрахунків матеріально - теплових балансів процесу. Наведено структурну схему вирішення завдання вибору оптимального складу шихти.

**Ключові слова: концепція, доменна шихта, вибір компонентів, оптимальний склад, експертна система, критерії**

*Статья поступила в редакцию сборника 19.10.2018 года, прошла внутреннее и внешнее рецензирование (Протокол заседания редакционной коллегии сборника №1 от 26 декабря 2018 года)  
Рецензенты: д.т.н., проф. А.К.Тараканов; д.т.н., проф. А.Г.Чернятевич*