

DOI: 10.34185/1991-7848.2019.01.04

УДК. 669.74:669.162.262.3:669.213.3

В.А. Гладких, Ю.С. Пройдак, А.И. Михалев, А.В. Рубан, Ю.Б. Дедов

### ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ШИХТЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАРГАНЦЕВЫХ АГЛОМЕРАТОВ

*Отечественные марганцевые руды подвергаются обогащению. Полученные при этом концентраты представлены мелкой фракцией, которую перед рудовосстановительной плавкой подвергают окускованию методом агломерации. Сравнительная оценка качества исходного марганцевого сырья, применяемого при производстве агломерата, проводимая по модульному параметру  $\mathcal{R}x_i/Mn$ , т.е. отношению содержания элемента  $x_i$  (P, Mn, Fe, SiO<sub>2</sub>) к содержанию марганца, показывает, что концентраты никопольского бассейна характеризуется меньшим модулем железа в сравнении с импортными рудами (ЮАР, Бразилии Австралии). Это позволяет получать ферросиликомарганец с более высоким содержанием марганца по сравнению с использованием импортных марганцевых руд. В работе приведена математическая модель стоимостной оптимизации состава шихты при спекании марганцевого агломерата из концентратов различных сортов с учетом переработки заводских техногенных отходов. Разработанный алгоритм позволяет находить компромиссные решения при варьировании долевым соотношением шихтовых компонентов в аглошихте их химическим составом, выходом твердого остатка из каждого компонента шихты.*

**Ключевые слова:** марганец, извлечение, шихта, отходы, агломерат, твердый остаток, математическая модель, алгоритм, стоимостная оптимизация.

#### Постановка проблемы

Анализа применяемых на практике технологических схем переработки отечественного и импортного марганцевого сырья [1-5] свидетельствует, что разработка и реализация высокоэффективных ресурсо- и энергосберегающих технологий, включающих предварительную подготовку исходного минерального сырья и выплавку марганцевых ферросплавов на данном этапе развития науки и производства взаимосвязана с созданием математических моделей процессов и компьютерных программ по моделированию и прогнозированию управляющих параметров технологических процессов. Сравнительная оценка качества исходного марганцевого сырья, применяемого при производстве агломерата, проводимая по модульному параметру  $\mathcal{R}x_i/Mn$ , т.е. отношению содержания элемента  $x_i$  (P, Mn, Fe, SiO<sub>2</sub>) к содержанию марганца, показывает, что концентраты никопольского бассейна характеризуется меньшим модулем железа в сравнении с импортными рудами (ЮАР, Бразилии Австралии). Это позволяет получать ферросиликомарганец с более высоким содержанием марганца по сравнению с использованием импортных марганцевых руд[4]. Ферросиликомарганец, производимый в условиях ферросплавных заводов Украины содержит 72-75% Mn, что на 7-10% выше по отношению к базовому

содержанию марганца (65%) в сплаве согласно ДСТУ 3548-97[6]. Следует также отметить, что сплавы с высоким содержанием марганца пользуются большим спросом у сталеплавильщиков на внутреннем и внешнем рынках. Для отечественных марганцевых руд и концентратов модули железа, фосфора и кремнезема равны, соответственно:  $\mathfrak{Fe}/\mathfrak{Mn} > = 0,10 - 0,12$  и  $0,015 - 0,026$ ;  $\mathfrak{P}/\mathfrak{Mn} > = 0,0055 - 0,0068$  и  $0,0044 - 0,0056$ ;  $\mathfrak{SiO}_2/\mathfrak{Mn} > = 0,37 - 0,82$  и  $0,30 - 0,55$ . Естественная основность марганцевых концентратов  $((\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2)$  практически соответствует основности шлака ферросиликомарганца. В импортных рудах эти параметры составляют:  $\mathfrak{Fe}/\mathfrak{Mn} > = 0,13-0,21$ ;  $\mathfrak{P}/\mathfrak{Mn} > = 0,00090-0,00092$ ;  $\mathfrak{SiO}_2/\mathfrak{Mn} > = 0,10-0,12$ . В этих рудах существенно выше естественная основность (1,4-4,2).

### Анализ последних исследований

Ранее проведенными исследованиями [3,7] изучен минералогический состав и распределение элементов в рудных и нерудных фазах зарубежного сырья. Эти руды относятся к классу высокоокисленных, являются термически стойкими и характеризуются повышенными температурами восстановительных процессов. Для обеспечения приемлемого температурно-шлакового режима при выплавке марганцевых ферросплавов с использованием подобных руд требуется дополнительная присадка в шихту оксидно-шлаковых добавок. Некоторые импортные руды имеют необходимый фракционный состав и могут применяться в плавку без предварительной подготовки. Отечественные марганцевые руды подвергаются глубокому обогащению, а полученные при этом концентраты представлены мелкими фракциями 0-15 мм. Перед рудовосстановительной плавкой данные концентраты подвергают окускованию методом агломерации, что в также позволяет осуществлять переработку собственных марганецсодержащих отходов (шлаковый песок, шламы и др.) [8,9]. Степень полезного использования марганца при этом повышается на 3-5%.

### Цель исследования

В настоящей работе приведены результаты исследований с использованием симплекс метода [10] по разработке математических моделей стоимостной оптимизации состава шихты при спекании марганцевых агломератов (АМНВ-1 и АМНВ-2) с заданным содержанием марганца из марганцевого сырья различного качества и при условии переработки собственных марганецсодержащих отходов.

### Изложение основного материала исследования

При решении указанной задачи должно быть выполнено следующее условие:

$$E_{н.л} \leq E \leq E_{в.л}, \quad (1)$$

где  $E$  – элемент - марганец и его нижний ( $E_{н.л}$ ) и верхний ( $E_{в.л}$ ) пределы содержания в агломерате различных марок, % масс.

К примеру, агломерат марки АМНВ-2 имеет следующие пределы 38,5  $\mathfrak{Mn}$   $\mathfrak{Mn}$  40,5.

Из практики известно, что получить такой агломерат можно используя марганцевые концентраты различного сорта. Однако, необходимость одновременного

использования нескольких концентратов, имеющих высокое или низкое содержание марганца, а тем более выполнение условия, как можно более полного использования собственных техногенных отходов при заданном качестве и минимальной стоимости конечного продукта приводит к длительным расчетам. Иногда, без проведения предварительного технологического эксперимента решить данную задачу практически невозможно.

Химический состав исходных шихтовых материалов, в пересчете на элементы ( $E_i$ , мас.%), степень перехода элемента в агломерат ( $\eta_i$ , доли) и цены возможных компонентов шихты ( $C_i$ , грн.) приведены в табл. 1. Долевое содержание компонента в шихте выражено через  $X_i$ , где  $i$  - порядковый номер шихтового компонента в аглошихте (1-11). Содержание фосфора, марганца, кремния и железа в компонентах шихты обозначено как  $E_1, E_2, E_3$  и  $E_4$  соответственно.

Таблица 1

Химический состав исходных материалов ( $E_i$ ), извлечение элементов в агломерат ( $\eta_i$ ) и цена шихтового материала ( $C_i$ ).

Материал		Компонент $X_i$	Содержание элементов, % и их извлечение, доли									Цена, грн/т, $C_i$
			P		Mn		Si		Fe		ППП, %	
			$E_1$	$\eta_{E1}$	$E_2$	$\eta_{E2}$	$E_3$	$\eta_{E3}$	$E_4$	$\eta_{E4}$		
1	Марганцевый конц-т Ис.	$X_1$	0,18	0,98	43,9	0,95	7,2	0,98	2,3	0,96	12	$C_1$
2	Марганцевый конц-т ИсБ.	$X_2$	0,20	0,98	42,6	0,95	8,2	0,98	2,5	0,96	11,5	$C_2$
3	Марганцевый конц-т Ис. П (повышен)	$X_3$	0,17	0,98	39,3	0,95	8,9	0,98	2,5	0,96	13,2	$C_3$
4	Марганцевый конц-т Ис. Н (понижен)	$X_4$	0,20	0,98	36,3	0,95	10,2	0,98	2,2	0,96	14,6	$C_4$
5	Карбонатный конц-т Ис.	$X_5$	0,20	0,98	29,0	0,95	6,5	0,98	2,3	0,96	26	$C_5$
6	Шлак передельный	$X_6$	0,20	0,98	36,2	0,95	16,0	0,98	0,3	0,96	0,2	$C_6$
7	Шлам заводской	$X_7$	0,22	0,98	20,5	0,95	11,2	0,98	0,5	0,96	26	$C_7$
8	Шлам аглофабрики	$X_8$	0,22	0,98	25,6	0,95	9,7	0,98	2,4	0,96	19	$C_8$
9	Шлаковый песок	$X_9$	0,15	0,98	24,0	0,95	20	0,98	0,3	0,96	0,2	$C_9$
10	Концентрат импортный	$X_{10}$	0,05	0,98	49,0	0,95	5,0	0,98	6,0	0,96	15	$C_{10}$
11	Окисно-карбон. конц-т	$X_{11}$	0,17	0,98	30,4	0,95	9,0	0,98	2,7	0,96	21,4	$C_{11}$

Следует отметить, что добавка низкосортного концентрата при спекании агломерата первого сорта АМНВ-1 вызовет повышенный расход высокосортного марганцевого концентрата, а добавка высокосортного марганцевого концентрата при спекании АМНВ-2 (естественно при соблюдении пределов по марганцу) приведет к необходимости его разбавления марганцевым концентратом более низкого качества или оксидными отходами собственного производства. Количество присаживаемых отходов ограничено их наличием и технологической целесообразностью. Поэтому, нами введены следующие основные ограничения на доли компонентов в шихте, которые являются переменными величинами: концентрат Іс. –  $0 \leq X_1 \leq 1,0$ ; концентрат Іс.Б –  $0 \leq X_2 \leq 1,0$ ; Іс.П (с повышенным содержанием марганца) –  $0 \leq X_3 \leq 1,0$ ; Іс.Н (с пониженным содержанием марганца) –  $0 \leq X_4 \leq 1,0$ ; карбонатный концентрат Іс. –  $0 \leq X_5 \leq 0,5$ ; передельный шлак –  $0 \leq X_6 \leq 0,5$ ; шлак заводской –  $0 \leq X_7 \leq 0,15$ ; шлак аглоцефа –  $0 \leq X_8 \leq 0,15$ ; шлаковый песок –  $0 \leq X_9 \leq 0,15$ ; концентрат некондиционный –  $0 \leq X_{80} \leq 1,0$ ; окисно-карбонатный –  $0 \leq X_{11} \leq 0,5$ . В случае необходимости пределы могут быть изменены.

В качестве параметра оптимизации, при получения агломерата с заданными пределами содержания марганца, принята стоимость исходной шихты и уравнение оптимизации будет иметь вид [10]:

$$Y_0 = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots + C_nX_n, \quad (2)$$

где  $C_1 \dots C_n$  - цена единицы составного компонента (концентрат Іс., Іс. и т.д.);  $X_1 \dots X_n$  - доли компонентов в шихте.

При решении этой задачи мы оперируем явными переменными ( $X_i$ ), которые не отражают истинную картину процесса агломерации. В процессе агломерации происходит обжиг и плавление исходных материалов, удаляются летучие, влага гидратная, происходит улет ведущего элемента вместе с частицами пыли. Кроме того, добавка углеродистого восстановителя для ведения процесса агломерации привносит золу, которая изменяет массу твердого остатка после агломерации и его химический состав. Для расчета твердого остатка каждого компонента шихты, выраженного в виде оксидов, на основании многочисленных исследований [11] приняты следующие допущения. Марганец в агломерате присутствует в виде гаусманита  $Mn_3O_4$ , фосфор в виде  $P_2O_5$ , железо -  $Fe_2O_3$ , а кремний в виде  $SiO_2$ . Поэтому, с учетом выхода твердого остатка из каждого компонента при агломерации и степени перерхода (извлечения) ведущего элемента (марганца) в агломерат первая пара уравнений примет вид:

$$Y_1 = E_{B.П} - \frac{E_{21} \cdot \eta_{21}}{K_1} \cdot Z_1 - \dots - \frac{E_{21} \cdot \eta_{21}}{K_n} \cdot Z_n \geq 0, \quad (3)$$

$$Y_2 = E_{H.П} - \frac{E_{21} \cdot \eta_{21}}{K_1} \cdot Z_1 - \dots - \frac{E_{21} \cdot \eta_{21}}{K_n} \cdot Z_n \geq 0, \quad (4)$$

где  $K_1 \dots K_n$  – коэффициент выхода твердого остатка в долях из 1-го и n-го компонента шихты,  $Z_1 \dots Z_n$  – доля твердого остатка компонентов шихты в общей массе твердого остатка, получившегося после агломерации исходных оксидных компонентов.

Важными критериальными параметрами в расчете массы получаемого агломерата из исходных шихтовых материалов являются коэффициент выхода твердого спека из каждого  $i$ -го компонента шихты ( $K_i$ ) и доля данного твердого спека в массе спеченного агломерата ( $Z_i$ ), которые позволяют проводить как прямые расчеты на основании известных (планируемых) удельных норм расхода шихтовых компонентов, так и обратные – с выходом на нормы расхода шихтовых компонентов.

Коэффициент выхода твердого остатка (спека) из  $i$ -го компонента шихты при агломерации определяется из выражения:

$$K_i = \frac{100 - \text{ППП}_i - \{ [E_{Mni} \cdot 1,39(1 - \eta_{Mni}) + E_{Pi} \cdot 2,29(1 - \eta_{Pi}) + E_{Fei} \cdot 1,43(1 - \eta_{Fei}) + E_{Sii} \cdot 2,14(1 - \eta_{Sii})] + 0,03[100 - (E_{Mni} \cdot 1,39 + E_{Pi} \cdot 2,29 + E_{Fei} \cdot 1,43 + E_{Sii} \cdot 2,14 + \text{ППП}_i)] \}}{100}, \quad (5)$$

где  $\text{ППП}_i$  – потери при прокаливании  $i$ -го компонента шихты;  $E_{Mni}$ ,  $E_{Pi}$ ,  $E_{Fei}$ ,  $E_{Sii}$  – содержание соответственно Mn, P, Fe и Si в  $i$ -том компоненте шихты, %;  $\eta_{Mni}$ ,  $\eta_{Pi}$ ,  $\eta_{Fei}$ ,  $\eta_{Sii}$  – извлечение соответственно Mn, P, Fe и Si в агломерат из  $i$ -того компонента шихты, доли единиц; 1,39; 2,29; 1,43; 2,14 – коэффициенты пересчета образования оксидов  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  из соответствующих элементов Mn, P, Fe, Si.

Одним из условий решения соответствующей системы уравнений будет:

$$Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n = 1$$

Однако, для выхода на реальные компоненты нахождения области допустимых решений для явных переменных ( $Z_1 - Z_n$ ) недостаточно. Необходимо перейти к их эквивалентам в виде долей сырых исходных компонентов, которая определяется из выражения:

$$X_i = \frac{Z_i}{K_i \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{Z_i}{K_i} \right)}. \quad (6)$$

При этом уравнение минимизации стоимости аглошихты с учетом  $K_i$  и  $Z_i$  можно представить в виде:

$$Y_o = \frac{C_1 Z_1}{K_1} + \frac{C_2 \cdot Z_2}{K_2} + \frac{C_3 Z_3}{K_3} + \dots + \frac{C_n Z_n}{K_n} \quad (7)$$

Масса спека  $i$ -того компонента в общей массе агломерата равной 1000 кг:

$$G_{oi} = 1000 \cdot Z_i, \text{ кг.} \quad (8)$$

Суммарная масса твердых остатков (спеков) из рудных компонентов:

$$\sum G_o = \sum_{i=1}^n G_{oi}, \text{ кг.} \quad (9)$$

Масса агломерата с учетом золы коксовой мелочи:

$$G_A = \frac{\sum G_{Oi}}{0,985}, \text{ кг}, \quad (10)$$

где 0,985 – коэффициент, учитывающий увеличение массы агломерата за счет твердого остатка переходящего из золы коксовой мелочи (принятый из практики спекания агломерата).

Удельный расход исходного  $i$ -того компонента аглошихты при получении натуральной тонны агломерата (на сухую массу):

$$G_{Ni} = \frac{G_{Oi}}{K_i \cdot G_A} \cdot 10^5, \text{ кг/т}. \quad (11)$$

Содержание марганца в агломерате:

$$E_{2A} = \frac{\sum_{i=1}^n G_{Ni} \cdot E_{2i} \cdot \eta_{2i}}{1000}, \%, \quad (12)$$

Содержание  $j$ -го оксида в агломерате спеченного из  $i$ -ых компонентов шихты описывается выражением:

$$E_{окс}^j = \sum_{i=1}^n (G_{Ni} \cdot E_{ji} \cdot \eta_{ji} \cdot R_i) / 10^3, \%, \quad (13)$$

где  $R$  – коэффициент пересчета элемента в оксидную фазу (соответственно 1,39, 2,29, 1,43, 2,14 для оксидов  $Mn_3O_4$ ,  $P_2O_5$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$ ). При расчете развернутого состава агломерата с учетом оксидов  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $R_2O$  коэффициент  $R$  для них не учитывается, т.к. в исходных компонентах аглошихты уже учитывается их содержание в оксидной форме.

Выражения для расчета содержаний элементов и оксидов в агломерате приведены ниже, %:

$$E_{1A} = \frac{\sum_{i=1}^n (G_{Ni} \cdot E_{1i} \cdot \eta_{1i})}{10^3}; \quad (14) \quad E_{5A} = \frac{\sum_{i=1}^n (G_{Ni} \cdot E_{5i} \cdot \eta_{5i})}{0,9975 \cdot 10^3}; \quad (18)$$

$$E_{2A} = \frac{\sum_{i=1}^n (G_{Ni} \cdot E_{2i} \cdot \eta_{2i})}{10^3}; \quad (15) \quad E_{6A} = \frac{\sum_{i=1}^n (G_{Ni} \cdot E_{6i} \cdot \eta_{6i})}{0,9995 \cdot 10^3}; \quad (19)$$

$$E_{3A} = 2,14 \frac{\sum_{i=1}^n (G_{Ni} \cdot E_{3i} \cdot \eta_{3i})}{0,995 \cdot 10^3}; \quad (16) \quad E_{7A} = \frac{\sum_{i=1}^n (G_{Ni} \cdot E_{7i} \cdot \eta_{7i})}{10^3}; \quad (20)$$

$$E_{4A} = \frac{\sum_{i=1}^n (G_{Ni} \cdot E_{4i} \cdot \eta_{4i})}{0,998 \cdot 10^3}; \quad (17) \quad E_{8A} = \frac{\sum_{i=1}^n (G_{Ni} \cdot E_{8i} \cdot \eta_{8i})}{10^3}. \quad (21),$$

где  $E_{1A}$ ,  $E_{2A}$ ,  $E_{3A}$ ,  $E_{4A}$ ,  $E_{5A}$ ,  $E_{6A}$ ,  $E_{7A}$ ,  $E_{8A}$  – расчетное содержание элементов и оксидов в агломерате соответственно P, Mn,  $SiO_2$ , Fe,  $Al_2O_3$ , CaO, MgO,  $R_2O$ ; 2,14 – коэффициент пересчета элемента кремния в оксид  $SiO_2$ ; 0,995; 0,998; 0,9975; 0,9995 – коэффициент, учитывающие переход оксидов из золы коксовой мелочи в агломерат соответственно  $SiO_2$ , FeO,  $Al_2O_3$ , CaO.

Основность агломерата рассчитывается по выражению:

$$B_A = \frac{\%CaO + \%MgO}{\%SiO_2} = \frac{\%E_{6A} + \%E_{7A}}{\%E_{3A}}. \quad (22)$$

Приведенные выше выражения позволяют проводить расчеты прогнозируемых составов агломератов различных марок (АМНВ-1, АМНВ-2, АМНШ и др.) на основе стоимостной оптимизации шихты.

Стоимость аглошихты, состоящей из исходных сырых компонентов (нат.т.), определяется из уравнения:

$$S_{ш} = \sum_{i=1}^n G_{Ni} \cdot C_i \cdot 10^{-3}, \text{ грн.} \quad (23)$$

Таким образом, разработаны алгоритмы и программы расчета развернутых прогнозируемых химических составов марганцевых агломератов различных сортов на основе исходных параметров и созданной в работе математической модели. Программа позволяет производить расчеты содержания в агломерате как чистых элементов (%% Mn, Fe, P), так и оксидных компонентов (%% SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, R<sub>2</sub>O) исходя из выполнения соответствующего условия  $\sum_{i=1}^n E_{iA} = 100\%$ .

Скорректированная математическая модель процесса агломерации с учетом определяющего критериального параметра – выхода твердого спека из каждого компонента аглошихты и в целом получения твердой массы агломерата позволило разработать соответствующую программную систему для поддержки принятия решений по оптимизации состава аглошихты в конкретных ситуациях с учетом максимального использования техногенных материалов, образующихся на предприятии.

При моделировании варьировали как переменными величинами граничных пределов, так и значениями, принимаемых в расчете величин технологических параметров и показателей. Разработанный алгоритм позволяет находить компромиссные решения при варьировании долевым соотношением шихтовых компонентов в аглошихте их химическим составом, выходом твердого остатка из каждого компонента шихты и в целом – конечного спека агломерата при выполнении основного условия – нахождения области допустимых решений.

### Выводы

В целом, математическая модель позволяет разработать программную систему, с помощью которой становится возможным проводить комплекс оперативных расчетов, включающих стоимостную оптимизацию состава шихты при широком аспекте компромиссных корректировочных решений в конкретных производственных ситуациях.

Полученные в работе результаты могут быть использованы при разработке программной системы поддержки принятия решения по оперативному управлению процессом агломерации в производственных условиях ПАО «Никопольский завод ферросплавов».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гасик М.И. Марганец. - М.: Металлургия, 1994. - 608 с.
2. Гасик М.И., Лякишев Н.П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов. - М.: СП «Интермет-Инжиниринг», 1999. - 764 с.
3. Гасик М.И., Пройдак Ю.С., Гладышевский Р.Е. Гладких В.А., Рубан А.В., Кривенко О.В. Структурные исследования шлака ферросиликомарганца с целью его вовлечения в ферросплавное производство // Материалы VIII ежегодной Международной научно-технической конференции «Ключевые аспекты развития электрометаллургической отрасли», 19-20 апреля 2018, Киев, 2018г. – С.124-129.
4. Статистический анализ технологии выплавки высокоуглеродистого ферромарганца с использованием марганцевого сырья ЮАР / Гладких В.А., Дедов Ю.Б., Михалев А.И., Лысенко В.Ф., Лысый Д.А. // Сталь, 2001, №7, - С.400-43.
5. Оптимизация состава многокомпонентной шихты углеродовосстановительной плавки ферросплавов / Гасик М.И., Гладких В.А., Михалев А.И. и др. // Электрометаллургия, 1999, № 3. – С.35-40.
6. Державний стандарт України. Ферросиликомарганець. ДСТУ 3548-97. Держстандарт України, 1998. Київ. 11 с.
7. Рубан А.В., Гладких В.А. Исследование процесса выплавки ферросиликомарганца с применением отсевов фракционирования высокоуглеродистого ферромарганца / Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2015. - №6. – С. 24-28.
8. Исследование технологии металлургического передела шлакового песка / В.А. Гладких, В.Ф. Лысенко, И.П. Рогоачев и др. // Металлургия и коксохимия. – К.: Техника, 1983, вып.81. – С. 53-60.
9. Пути утилизации некондиционных марганецсодержащих материалов / И.П. Рогоачев, А.Н. Овчарук, Б.Ф. Величко и др. – М.: Черметинформация, 1986, вып.3. 24с.
10. Хазан Г.Л. Поиск компромиссов при расчете оптимальной многокомпонентной шихты для металлургического расплава. // Расплавы, 1994, №1. - С.67-72.
11. Оптимизация параметров процессов ферросплавного производства с использованием методов нечетного вывода / А.И. Михалев, Н.В. Лысая, Д.А. Лысый, В.А. Гладких, В.Ф. Лысенко. – Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 2008. – 130 с.

## REFERENCES

1. Gasik M.I. Marganets. - M.: Metallurgiya, 1994.- 608 s.
2. Gasik M.I., Lyakishev N.P. Teoriya i tehnologiya elektrometallurgii ferrosplavov. - M.: SP «Intermet-Inzhiniring», 1999. - 764 s.
3. Gasik M.I., Proydak Yu.S., Gladyshevskiy R.E. Gladkih V.A., Ruban A.V., Krivenko O.V. Strukturnyye issledovaniya shlaka ferrosilikomargantsa s tselyu ego vovlecheniya v ferrosplavnoe proizvodstvo // Materialy VIII ezhegodnoy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Klyuchevyye aspekty razvitiya elektrometallurgicheskoy otrasli», 19-20 aprelya 2018, Kiev, 2018g. – S.124-129.



4. Statisticheskiy analiz tehnologii vyiplavki vyisokouglerodistogo ferromargantsa s ispolzovaniem margantseвого syr'ya YuAR / Gladkih V.A., Dedov Yu.B., Mihalev A.I., Lyisenko V.F., Lyisyiy D.A. // Stal, 2001, #7, - S.400-43.
5. Optimizatsiya sostava mnogokomponentnoy shihtyi uglerodovosstanovitelnoy plavki ferrosplavov / Gasik M.I., Gladkih V.A., Mihalev A.I. i dr. // Elektrometallurgiya, 1999, # 3. – S.35-40.
6. Derzhavniy standart UkraYini. Ferrosilikomarganets. DSTU 3548-97. Derzhstandart UkraYini, 1998. KiYiv. 11 s.
7. Ruban A.V., Gladkih V.A. Issledovanie protsessa vyiplavki ferrosilikomargantsa s primeneniem otseviv fraktsionirovaniya vyisokouglerodistogo ferromargantsa / Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost. – 2015. - #6. – S. 24-28.
8. Issledovanie tehnologii metallurgicheskogo peredela shlakovogo peska / V.A. Gladkih, V.F. Lyisenko, I.P. Rogoachev i dr. // Metallurgiya i koksohimiya. – K.: Tehnika, 1983, vyip.81. – S. 53-60.
9. Puti utilizatsii nekonditsionnyih marganetssoederzhaschih materialov / I.P. Rogachev, A.N. Ovcharuk, B.F. Velichko i dr. – M.: Chermetinformatsiya, 1986, vyip.3. 24s.
10. Hazan G.L. Poisk kompromissov pri raschete optimalnoy mnogokomponentnoy shihtyi dlya metallurgicheskogo rasplava. // Rasplavy, 1994, #1. - S67-72.
11. Optimizatsiya parametrov protsessov ferrosplavnogo proizvodstva s ispolzovaniem metodov nechetnogo vyivoda / A.I. Mihalev, N.V. Lyisaya, D.A. Lyisyiy, V.A. Gladkih, V.F. Lyisenko. – Dnepropetrovsk: GNPP «Sistemnyie tehnologii», 2008. – 130 s.

*Received 21.01.19*

#### **THE DEVELOPMENT OF ALGORITHM FOR CHARGING MATERIAL COST REDUCTION IN TERMS OF MANGANESE SINTER PRODUCTION**

Manganese ores in Ukraine are beneficiated, thus such concentrates come in small fractions. Before the melting process such concentrates undergo sintering.

The research study presents the results of simplex algorithm application in terms of developing mathematical model for charging material cost reduction while sintering manganese agglomerates (AMHB-1 and AMHB-2) with defined level of manganese out of various manganese raw materials and while processing their own wastes that still contain manganese. Comparative analysis of the quality of initial manganese raw material used for sintering process that was conducted while following the module parameter  $\langle x_i / \text{Mn} \rangle$  (i.e. the relationship between the contents of the element  $x_i$  (P, Mn, Fe, SiO<sub>2</sub>) and manganese) reveal that concentrates from the deposits in Nikopol have less module of iron compared to ores imported, for instance, from SAR, Brazil, Australia, etc. While solving the mentioned above problem, the following statement should be taken into consideration:  $E_{H.II} \leq E \leq E_{B.II}$ , where E - states for the element (manganese) along with its lower (E<sub>H.II</sub>) and upper (E<sub>B.II</sub>) limits of content in various sinter grades, mass %.

The addition of low-grade concentrate in terms of AMHB-1 agglomerate sintering may result in increased consumption of high-grade manganese concentrate. Moreover, the addition of high-grade manganese concentrate in terms of AMHB-2 agglomerate sintering (respecting the limits of manganese, as it should be) may result in diluting it either with lower-grade manganese concentrate or its own oxide wastes. The amount of added wastes is limited due to its availability and reasonability from engineering point of view.

The important criteria for defining the amount of agglomerate mass based on initial indices of charging material are the coefficient of solid sinter output from each i-row component of this charging material and the percentage of this solid sinter in agglomerate mass.

The developed algorithm suggests acceptable solutions while changing the percentage of charging material components in agglomerate charging material with its chemical content, solid waste output from each charging material component. Mathematical model helps develop software system that makes integrated efficient and strategic estimation possible. This implies charging material cost reduction while taking into account quite large range of aspects of acceptable and adjustable solutions in certain manufacturing contexts.

The described results can be used for software system development in order to make acceptable and adjustable solutions regarding the management of sintering process in specified manufacturing contexts of JSC «Nikopol Ferroalloy Plant».

**Keywords:** manganese, extraction, charge, waste, agglomerate, solid residue, mathematical model, algorithm, cost optimization.

### ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ШИХТИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ МАРГАНЦЕВИХ АГЛОМЕРАТІВ

Вітчизняні марганцеві руди піддаються збагаченню. При цьому отримують концентрати дрібні фракції, яку перед рудовідновною плавкою піддають огрудкуванню методом агломерації. У роботі приведена математична моделі вартісної оптимізації складу шихти за для спікання марганцевого агломерату з концентратів різних сортів з урахуванням переробки заводських техногенних відходів. Алгоритм дозволяє знаходити компромісні рішення під час варіювання долею співвідношення шихтових компонентів в аглошихті їх хімічним складом, виходом твердого залишку з кожного компонента шихти. Отримані в роботі результати можуть бути використані для розробки програмної системи підтримки прийняття рішень з оперативного управління процесом агломерації в виробничих умовах ПАТ «Нікопольський завод феросплавів».

*Гладких В.А.* – д.т.н., проф., професор кафедри електрометалургії НМетАУ.

*Gladkikh V.* – Doctor of technical sciences, professor, professor of electrometallurgy department NMetAU.

*Пройдак Ю.С.* – д.т.н., проф., професор кафедри електрометалургії, проректор з наукової роботи НМетАУ.

*Proydak Y.* – Doctor of technical sciences, professor, professor of electrometallurgy Department, Vice rector on scientific work of NMetAU.

*Михальов О.І.* – д.т.н., проф., завідувач кафедрою інформаційних технологій і систем НМетАУ.

*Mikhalyov A.* – Doctor of technical sciences, professor, professor, Department of information technology and systems of NMetAU.

*Рубан А.В.* – к.т.н., доц., доцент кафедри електрометалургії НМетАУ.

*Ruban A.* – Candidate of technical sciences, associate professor of electrometallurgy Department of NMetAU.

*Дєдов Ю.Б.* – к.т.н., провідний інженер виробничо-технічного відділу АТ «Нікопольський завод феросплавів».

*Dedov Y.* – Candidate of technical sciences, Leading engineer of production and technical department of JSC "Nikopol Ferroalloy Plant".