

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

ОПТИМИЗАЦІЯ СОСТАВА ШИХТЫ ПРИ ПРОІЗВОДСТВЕ МАРГАНЦЕВЫХ АГЛОМЕРАТОВ

Аннотация. Отечественные марганцевые руды подвергаются обогащению. Полученные при этом концентраты представлены мелкой фракцией, которую перед рудовосстановительной плавкой подвергают окускованию методом агломерации. 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.

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

Key words: Manganese, extraction, charge, waste, agglomerate, solid residue, mathematical model, algorithm, cost optimization.

Постановка проблеми

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 $\frac{R_{x_i}}{Mn}$, т.е. отношению содержания элемента x_i (P, Mn, Fe, SiO₂) 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: $R_{Fe/Mn} = 0,10 - 0,12$ и $0,015 - 0,026$; $R_{P/Mn} = 0,0055 - 0,0068$ и $0,0044 - 0,0056$; $R_{SiO_2/Mn} = 0,37 - 0,82$ и $0,30 - 0,55$. Естественная основность марганцевых концентратов ((CaO+MgO)/SiO₂) практически соответствует основности шлака ферросиликомарганца. В импортных рудах эти параметры составляют: $R_{Fe/Mn} = 0,13-0,21$; $R_{P/Mn} = 0,00090-0,00092$; $R_{SiO_2/Mn} = 0,10-0,12$. 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:

$$E_{\text{Н.п}} \leq E \leq E_{\text{В.п}}, \quad (1)$$

где E – элемент - марганец и его нижний ($E_{\text{Н.п}}$) и верхний ($E_{\text{В.п}}$) пределы содержания в агломерате различных марок, % масс.

К примеру, агломерат марки АМНВ-2 имеет следующие пределы 38,5 % 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 (η_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 (η_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				
		E_1	η_{E1}	E_2	η_{E2}	E_3	η_{E3}	E_4	η_{E4}			
1	Марганцевый конц-т Ic.	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 IcБ.	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 IIс. 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 IIс. 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 Ic.	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 Ic. – $0 \leq X_1 \leq 1,0$; концентрат Ic.Б – $0 \leq X_2 \leq 1,0$; IIс.П (с повышенным содержанием марганца) – $0 \leq X_3 \leq 1,0$; IIс.Н (с пониженным содержанием марганца) – $0 \leq X_4 \leq 1,0$; карбонатный

концентрат Іс. – $0 \leq X_5 \leq 0,5$; передельний шлак – $0 \leq X_6 \leq 0,5$; шлам заводської – $0 \leq X_7 \leq 0,15$; шлам аглоцеха – $0 \leq X_8 \leq 0,15$; шлаковий песок – $0 \leq X_9 \leq 0,15$; концентрат некондиціонний – $0 \leq X_{80} \leq 1,0$; окисно-карбонатний – $0 \leq X_{11} \leq 0,5$. В случає необхідності пределы могут быть изменены.

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

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

где $C_1 \dots C_n$ – цена единицы составного компонента (концентрат Іс., ІІс. 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] принятые 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:

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

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

где $K_1 \dots K_n$ – коэффициент выхода твердого остатка волях 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:

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

где $ППП_i$ – 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, %; η_{Mni} , η_{Pi} , η_{Fei} , η_{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 Mn_3O_4 , P_2O_5 , Fe_2O_3 , 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):

$$G_{Ni} = \frac{G_{O_i}}{K_i \cdot G_A} \cdot 10^3, \text{ кг/т.} \quad (11)$$

Содержание марганца в агломерате:

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

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

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

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, %:

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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 (%% SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, R₂O) 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 углеродовсстановительной плавки ферросплавов / Гасик М.И., Гладких В.А., Михалев А.И. и др. // Электрометаллургия, 1999, № 3. – С.35-40.
6. Державний стандарт України. Ферросилікомарганець. 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. Рогачев, 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.-С67-72.
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. Strukturnye issledovaniya shlaka ferrosilikomargantsa s tselyu ego vovlecheniya v ferrospalvnoe proizvodstvo // Materialyi VIII ezhegodnoy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Klyuchevye aspekty razvitiya elektrometallurgicheskoy otrasi», 19-20 aprelya 2018, Kiev, 2018g. – S.124-129.
4. Statisticheskiy analiz tehnologii vyiplavki vyisokouglerodistogo ferromargantsa s ispolzovaniem margantsevogo syirya 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 mnogokmponentnoy shihtyi uglerodovosstanovitelnoy plavki ferrospalavov / Gasik M.I., Gladkih V.A., Mihalev A.I. i dr. // Elektrometallurgiya, 1999, # 3. – S.35-40.
6. Derzhavniy standart Ukrayini. Ferrosillkomarganets. DSTU 3548-97. Derzhstandart Ukrayini, 1998. KiYiv. 11 s.
7. Ruban A.V., Gladkih V.A. Issledovanie protsessa vyiplavki ferrosilikomargantsa s primeneniem otsevov fraktsionirovaniya vyisokouglerodistogo ferromargantsa / Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyishlennost. – 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 marganetssoderzhaschih 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 mnogokmponentnoy shihtyi dlya metallurgicheskogo rasplava.//Rasplavyi,1994,#1.-S67-72.
- 11.Optimizatsiya parametrov protsessov ferrospalvnogo 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.