

Код МРНТИ 53.31.15

Е.Б. Тажиев, *Е.Е. Жолдасбай, А.А. Аргын, Г.М. Койшина
Sathbayev University (Алматы, Казахстан)

ПОДГОТОВКА МОНОШИХТЫ НА ОСНОВЕ МАРГАНЦЕВЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОМАРГАНЦА: РАСЧЕТ РАСХОДА УГЛЕРОДА

Аннотация. На крупных обогатительных фабриках металлургических комбинатов накапливаются отходы от обогащения марганцевых и хромитовых руд, дисперсные железосодержащие и углеродсодержащие шламы. В настоящей работе представлены результаты предварительной подготовки шихты для переработки мелких марганцевых отходов от обогащения марганцевых руд Джездинского ГОКа. Разработана методика поэтапного приготовления комплексных мелкодисперсных смесей (фракция менее 1 мм), состоящей из марганцевых отходов, прокатной окалины и древесного угля. Комплексные аналитические исследования промежуточных и конечных продуктов выполнялись с помощью методов атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой, рентгенофазового анализа. Приведен состав окончательной моношихты, готовой к проведению дальнейшей операции получения металлизированных окатышей, пригодной для восстановительной плавки с целью получения ферромарганца заданного состава.

Ключевые слова: марганцевые отходы, железо, марганец, обогащение, моношихта, расход углерода, прокатная окалина.

Ферромарганец алу үшін марганец қалдықтарына негізделген моношихтаны дайындау: көміртегі шығынын есептеу

Аңдатпа. Металлургиялық комбинаттардың ірі байыту фабрикаларында марганец және хромит кендерін байытудан қалған қалдықтар, құрамында темірлі бар дисперсті және құрамында көміртегі бар шламдар жинақталған. Бұл жұмыста Джездин ҚБК марганец кендерін байытудан ұсақ марганец қалдықтарын өңдеуге арналған шихтаны алдын ала дайындау нәтижелері ұсынылған. Марганец қалдықтарынан, илектеу масштабынан және көмірден тұратын күрделі ұсақ дисперсті қоспаларды (фракциясы 1 мм-ден аз) кезек-кезеңімен дайындау әдістемесі әзірленді. Аралық және соңғы өнімдерге кешенді аналитикалық зерттеулер индуктивті байланысқан плазмамен атомдық-эмиссиялық спектроскопия әдістерін, рентгендік фазалық талдауды қолдана отырып жүргізілді. Берілген құрамның ферромарганецін алу мақсатында тотықсыздандырып балқытуға жарамды металдандырылған түйіршіктерді алудың одан әрі операциясын жүргізуге дайын соңғы моношихтаның құрамы келтірілген.

Түйінді сөздер: марганец қалдықтары, темір, марганец, байыту, моношихта, көміртегі шығыны, прокат окалинасы.

Preparation of a single charge based on manganese waste for the production of ferromanganese: calculation of carbon consumption

Abstract. At large processing plants of metallurgical plants, waste from the enrichment of manganese and chromite ores, dispersed iron-containing and carbon-containing slurries accumulate. This paper presents the results of preliminary preparation of the charge for processing small manganese waste from the enrichment of manganese ores of the Dzhezdinsky MPP. A method of step-by-step preparation of complex fine mixtures (fraction less than 1 mm) consisting of manganese waste, rolling scale and charcoal has been developed. Complex analytical studies of intermediate and final products were carried out using methods of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma, X-ray phase analysis. The composition of the final mono-charge, ready for the further operation of obtaining metallized pellets, suitable for reducing melting in order to obtain ferromanganese of a given composition, is given.

Key words: manganese waste, iron, manganese, enrichment, mono-charge, carbon consumption, rolling scale.

Введение

Традиционная технология производства ферросплавов, базирующаяся на использовании кусковых марганцевых и хромитовых руд с использованием металлургического кокса и флюсующих добавок [1, 2], вызывает необходимость решения ряда проблем. Это – ресурсосбережение первичного сырья, образование и переработка металлургических отходов, получаемых при производстве ферросплавов, снижение себестоимости продукции за счет сокращения электроэнергии и расхода кокса.

Высокотемпературный процесс восстановительной плавки исходной шихты для производства ферросплавов основан на рудно-термических электроплавильных печах. Нагрев и плавление шихты осуществляется опусканием электродов в слой шихты, подачей и регулированием расхода электроэнергии. Поскольку основные компоненты шихты – руда и кокс представляют окисленные материалы, процессы восстановления металлов углеродом кокса могут начинаться исключительно при расплавлении рудной части шихты. Химическое взаимодействие между оксидами железа, марганца и хрома и углеродом кокса происходит при высокой температуре в жидкой фазе оксидов [3]. Такой механизм осуществления технологического процесса производства стали и ферросплавов распространен во всем мире и является

незыблемой фундаментальной основой традиционной технологии.

Расход энергии на ферросплавное производство по традиционной технологии складывается из нагрева шихты, расплавления рудной части шихты, эндотермических тепловых эффектов восстановления железа, марганца, хрома, кремния твердым углеродом, и перегрева расплавов шлака и ферросплавов. Суммарный расход электроэнергии на производство ферромарганца колеблется в пределах 5000-6000 кВт·ч/т и 9000-9500 кВт·ч/т феррохрома. При этом технология сопровождается большим расходом кокса, который варьирует в пределах 500-600 кг/т ферросплавов [4]. Большие расходы на электроэнергию и кокс определяют себестоимость и рыночную стоимость ферросплавной продукции. Несмотря на высокие затраты электроэнергии и кокса с одной стороны, и экологические проблемы с другой, до сегодняшнего дня продолжают получать высокоуглеродистые ферросплавы.

Сегодня производство железа и стали, а также ферросплавов является ответственной отраслью за большие выбросы парниковых газов. Важность решения этой задачи усиливается тем, что по прогнозам экспертов, ожидаемый постоянный выброс антропогенных парниковых газов может привести к резким изменениям климатических условий [5]. Для снижения выбросов очевидными представляются

внедрение прорывных технологий и использование альтернативного топлива, обедненного по CO_2 . Возможными вариантами решения может быть применение в качестве восстановителей биомассы, биоуглерода или водорода. Углерод на биологической основе можно считать CO_2 -нейтральным, если такое же количество биомассы потребляется и рекультивируется [6]. Следовательно, замена ископаемых носителей углерода, к примеру, на древесный уголь, может привести к существенному снижению удельных выбросов CO_2 в атмосферу [7].

Отдельная проблема – изыскание способов переработки мелкодисперсных отходов от обогащения марганцевых и хромовых руд, накопленные объемы которых определяют критический уровень их влияния на грунтовые воды, водную флору и окружающую среду [8, 9, 10].

Наиболее распространенный способ переработки мелких отходов от обогащения руд, широко используемый на практике – окускование путем их агломерации, которую реализуют при температуре 1450 °С. Мелкие частицы при такой температуре даже близко не подходят к состоянию размягчения, так как процесс обеспечивается при высоких температурах – 1600-1700 °С. Обычные агломерационные машины такие температуры не выдерживают. Сегодня агломерация не представляется эффективной, как с точки зрения технологии, так и с экологической стороны. Второй широко используемый способ подготовки мелкодисперсного материала к переработке – окускование путем организации производства окатышей. Процесс также требует значительных издержек: измельчения мелких отходов до дисперсного состояния, расход связующих материалов, использование дополнительного оборудования.

В научной литературе известен ряд работ, посвященный эффективному решению вопроса переработки мелкодисперсных хром-, марганецсодержащих отходов [11, 12, 13]. Однако, в силу больших капитальных затрат и жестких требований, предъявляемых к экологии, связанных с большими выбросами парниковых газов, внедрение их в производство сдерживается и не находит широкого применения.

Проведенный краткий анализ показывает, что в силу усиленных жестких мер к окружающей среде по выбросам парниковых газов, существующие производства стали и ферросплавов испытывают серьезное давление. Это, безусловно, вызывает необходимость изыскания новых подходов и научных решений с целью модернизации производства.

Большой теоретический и практический интерес представляют результаты работы [14], где изложены новые подходы к технологии производства стали и ферросплавов, базирующиеся на единой методике расчета исходной шихты регулируемого состава. Предложенные авторами решения представляют исключительный интерес с точки зрения вовлечения на переработку мелкодисперсных марганец-, хромсодержащих отходов от обогащения соответствующих руд, другого различного по типу и составу многокомпонентного сырья с высоким извлечением из них ценных металлов. Использование в разработанной технологии в качестве восстановителя, вместо природного углерода, древесного угля, придает особую привлекательность к технологии.

В настоящей работе приведена методика расчета необходимого расхода углерода для приготовления шихты регулируемого состава на основе марганцевых отходов Джездинского ГОКа.

Материалы и методы исследования

Материалы. Подготовка «моношихты» и ее пирометаллургическая переработка основана на решении актуальной проблемы эффективного использования накопленных металлосодержащих промышленных отходов для производства товарной продукции.

Под понятием «моношихта» подразумевается предварительно подготовленная смесь, состоящая из металлосодержащих компонентов и углеродсодержащих восстановителей. Массовое соотношение компонентов подобрано так, что при восстановительном обжиге и плавке из нее получают металл и сплав заданного состава.

В настоящей работе основу моношихты составляют накопленные отходы от обогащения марганцевых руд Джездинского ГОКа, прокатная окалина производства стали металлургического производства «Арселор Миттал» и древесный уголь, полученный пиролизом биологических отходов, начиная от сорняковых трав до отходов сельхозугодий (соломы, стеблей хлопчатника и др.).

Методы исследования. Элементные составы исходных компонентов шихты и полученных продуктов определяли с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7700 Series ICP-MS (США) и химического метода анализа.

Рентгенофазовый анализ проб проводили с использованием прибора D8 Advance (Bruker AXS GmbH), α -Cu, напряжение на рентгеновской трубке 40/40. Обработка полученных данных дифрактограмм и расчет межплоскостных расстояний проводились с помощью программного обеспечения EVA. Расшифровка проб и поиск фаз осуществляли с помощью программы Search/match с использованием Базы данных карточек ASTM. Ошибка количественного анализа $\pm 5\%$.

Отходы от обогащения марганцевых руд содержат низкую концентрацию оксидов железа и марганца – на уровне 6,0-7,5% и 15,0-20%, соответственно. Для проведения экспериментальных исследований исходный материал был подвергнут дополнительному обогащению на воздушно-гравитационной установке, специальной конструкции [15].

Результаты и их обсуждение

Элементный и фазовый состав марганецсодержащих отходов Джездинского ГОКа показаны в табл. 1 и 2.

В отходах железо и марганец, в основном, представлены в виде своих оксидов, силикатов и ферритов. После гравитационной обработки в кипящем слое [15] получили остаточный продукт, массой в пределах 0,78-0,80 кг.

Химический анализ полученных после воздушно-гравитационного обогащения образцов показал хорошую их сходимость (табл. 3).

Полученные опытные образцы марганцевых отходов с повышенным содержанием марганца были использованы для приготовления комплексной железо-марганец-углеродсодержащей моношихты.

Таблица 1

Элементный анализ марганцевых отходов

Кесте 1

Марганец құрамды қалдықтардың элементтік анализі

Table 1

Elemental analysis of manganese waste

Элементы	Содержание компонентов, % масс.	Элементы	Содержание компонентов, % масс.
O	44,64	K	0,258
Mn	16,32	Ca	16,631
Fe	4,68	Ti	0,167
Na	0,28	As	0,04
Mg	0,831	Cu	0,012
Al	1,38	Zn	0,072
Si	7,04	Pb	0,244
P	0,022	Sr	0,133
Cl	0,038	Ba	6,521
S	0,682	Pb	0,002

Таблица 2

Результаты полуколичественного анализа отходов

Кесте 2

Қалдықтарды жартылай сандық талдау нәтижелері

Table 2

Results of semi-quantitative waste analysis

Минералы	Формула	Содержание, %
Calcite	Ca(CO ₃)	41,2
Quartz, syn	SiO ₂	13,0
Braunite-1Q, syn	Mn ₇ O ₈ (SiO ₄)	10,1
Bixbyite, ferrian	FeMnO ₃	9,9
Baryte	BaSO ₄	6,6
Pigeonite	Mg _{0,69} Fe _{0,23} Ca _{0,08} SiO ₃	6,0
Dickite-2M1	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	5,6
Hematite, syn	Fe _{1,957} O ₃	4,6
Iron Manganese	Fe ₃ Mn ₇	3,0

Содержание оксида железа в полученных марганцевых отходах незначительно 10-11%, что недостаточно для подготовки окончательной моношихты. Для получения оптимального состава шихты в ее состав вводили дополнительно железосодержащий промышленный отход – прокатную окалину с высоким содержанием железа (до 67%). Далее готовили смесь прокатной окалины с марганцевым отходом исходя из их массового соотношения равной 0,1/0,9. Средневзвешенный химический состав приготовленной смеси представлен в табл. 4.

Из представленной в табл. 4 состава смеси в расчет принимали то, что твердым углеродом восстанавливаются оксиды железа и марганца. В соответствии с ходом прямого восстановления металлов из их оксидов твердым углеродом определяли стехиометрический расход твердо-

го углерода, который необходим для добавления в приготовленную смесь.

В табл. 5 представлены химические составы исходных компонентов, использованных для приготовления шихты.

В методическом плане задача поставлена так, чтобы вводимый в состав шихты твердый углерод был использован полностью на восстановление металлов без потерь. Железо и марганец восстанавливаются из своих оксидов углеродом в совершенно разных температурных режимах: железо – при 800-1000 °С; марганец – 1000-1250 °С. Как видно, при полной металлизации железа в смеси шихты значительное количество марганца остается в оксидной форме. При этом, предназначенное на его восстановление количество углерода останется в системе и будет полностью использовано при дальнейшей восстановительной плавке материала.

Общепринятая методика расчета прямого восстановления металлов углеродом на основе адсорбционно-автокаталитической теории предусматривает двухстадийные реакции:



Суммирование реакций (1), (2) дает реакцию (3), которая, как кажется, протекает исключительно с образованием газообразного продукта в виде *CO*. Однако такое представление не соответствует действительности. Оксиды металлов характеризуются «сильными» и «слабыми» химическими связями в зависимости от упругости диссоциации или свободной энергии Гиббса. Например, оксиды *Fe₂O₃* и *MnO₂* являются довольно «слабыми», свободно диссоциируют уже при температуре 800-900 °С. При их взаимодействии с твердым углеродом следует ожидать образования *CO₂*. Это имеет принципиальное значение. По реакции (3) на восстановление одной атомной единицы металла расходуется 12 г-атом углерода. В то же время, когда оксид металла напрямую взаимодействует с углеродом с образованием *CO₂*, по реакции:



на одну атомную единицу металла расходуется 6 г-атом углерода (в два раза меньше).

Поскольку извлекаемые элементы представлены в виде оксидов марганца и железа различной модификации, количество газифицируемого кислорода и состав газовой фазы будут зависеть от окисленности восстанавливаемых металлов.

Окисленность железа может быть определена исходя из содержания общего железа *Fe_{общ}* и *FeO*. Если в сырье отсутствует металлическое железо, то общее железо распределяется между двумя оксидами *Fe₂O₃* и *FeO*, поскольку *Fe₃O₄* представляет собой комплексное соединение *Fe₃O₄ = Fe₂O₃ · FeO*. Тогда количество связанного кислорода, отнесенное к единице массы железа из трех его оксидов, имеет следующее значение:

Химический состав марганцевых отходов после обогащения

Таблица 3

Байытудан кейінгі марганец қалдықтарының химиялық құрамы

Кесте 3

Chemical composition of manganese waste after enrichment

Table 3

Наименование образца	Химический состав, % масс.							
	Fe _{общ}	Mn	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P
Образец 1	9,82	27,90	34,30	4,33	1,82	0,62	0,22	0,82
Образец 2	10,11	28,12	33,12	4,26	1,81	0,58	0,21	0,81
Образец 3	10,56	28,53	32,20	4,21	1,80	0,56	0,20	0,79
Образец 4	10,62	28,65	31,40	4,20	1,76	0,55	0,20	0,80

Таблица 4

Средневзвешенный химический состав смеси

Кесте 4

Қоспаның орташа өлшенген химиялық құрамы

Table 4

Weighted average chemical composition of the mixture

Наименование шихты	Химический состав, % масс.							
	Fe _{общ}	Mn	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S
Окалина/Мп-й отход: 0,1/0,9	15,85	25,56	29,02	3,78	1,60	0,49	0,19	0,77

Таблица 5

Химический состав исходных компонентов шихты

Кесте 5

Бастапқы шихта компоненттерінің химиялық құрамы

Table 5

Chemical composition of the initial components of the charge

Наименование материала	Химический состав, % масс.									
	Fe	FeO	Mn	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	C
Марганцевый отход	11,21	–	28,35	32,25	4,20	1,78	0,55	0,8	0,21	–
Прокатная окалина	66,67	32,21	0,44	–	–	–	–	0,01	0,50	–
Древесный уголь	–	–	–	1,02	0,26	–	–	–	0,37	98,0

$$\begin{aligned}
 \text{из } Fe_2O_3 & \quad O_{Fe_2O_3} = 0,4285 \text{ кг/кг } Fe; \\
 \text{из } Fe_3O_4 & \quad O_{Fe_3O_4} = 0,3809 \text{ кг/кг } Fe; \\
 \text{из } FeO & \quad O_{FeO} = 0,2857 \text{ кг/кг } Fe.
 \end{aligned}
 \quad (5)$$

В химическом анализе сырья обычно определяют Fe_2O_3 и FeO или общее железо $Fe_{общ}$ и вюстит (FeO). Железо из Fe_2O_3 восстанавливается многоступенчато $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO$, а из FeO – одноступенчато, т.е. $FeO \rightarrow Fe$. При восстановлении твердым углеродом все ступени реакции имеют отрицательные тепловые эффекты и различные количественные значения. Причем, все реакции сопровождаются одновременным образованием CO_2 и CO в различных соотношениях. При этом концентрация CO_2 в газовой фазе падает в направлении уменьшения атомного отношения кислорода к железу, а концентрация CO повы-

шается. Количество и соотношение образующегося газа зависит, прежде всего, от общего количества газифицируемого кислорода и распределения его по фазам оксидов. Общее количество газифицируемого кислорода оксидов металла определяется методом последовательных фазовых превращений.

Методика расчета последовательных фазовых превращений оксидов металлов. Как видно из выражения (5), суммарное количество газифицируемого железа в гематите составляет 0,4285 г/г Fe . При трехступенчатом фазовом превращении гематита до металлического железа $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe_{мет}$ на каждой ступени фазового превращения газифицируется определенная доля кислорода от его общего количества (0,4285) в следующих долях:



где $Fe_{(c)}$ – содержание железа в шихтовом материале в виде гематита, %.

Учитывая, что часть железа в шихте находится в виде FeO , можно вычислить количество железа, связанного в гематит, исходя из соотношения:

$$Fe_{(c)} = Fe_{(общ)} - 0,777 \cdot FeO, \% \quad (9)$$

Газифицируемый кислород из FeO составит:

$$\Delta O_4 = 0,223 \cdot R_{Fe} \cdot FeO, \text{ кг/кг шихты,} \quad (10)$$

где: R_{Fe} – степень восстановления железа, $R_{Fe} = 0,98$ [15].

Суммарное количество газифицируемого кислорода из гематита Fe_2O_3 и FeO с учетом степени восстановления железа (R_{Fe}) определяется по уравнению:

$$\Delta O_{\Sigma Fe} = 10^{-2} [Fe_{общ} - 0,777 \cdot FeO] \cdot 0,4285 (0,333 + 0,667 \cdot R_{Fe}) + 0,228 R_{Fe} \cdot FeO, \text{ кг/кг шихты.} \quad (11)$$

Газификация кислорода оксидов марганца. Последовательное восстановление марганца в смеси, составленной на основе марганцевых отходов, которые могут находиться в виде оксидов MnO_2 , MnO , осуществляется аналогично расчетам, проведенным выше для восстановления железа.

Марганец восстанавливается ступенчато по схеме:



Поскольку массовые характеристики марганца и его оксидов весьма близки к свойствам железа, для определения газифицируемого кислорода на стадиях $Mn_2O_3 \rightarrow Mn_3O_4 \rightarrow MnO \rightarrow Mn$ можно использовать выражение:

$$\Delta O'_{Mn} = 10^{-2} \cdot Mn \cdot [0,1455 + 0,2908 \cdot R_{Mn}], \text{ кг/кг шихты.} \quad (13)$$

где: R_{Mn} – степень восстановления марганца, $R_{Mn} = 0,75$ [15].

Тогда, общее количество газифицируемого кислорода из шихты, составленной на основе марганцевых отходов, получаемое за счет восстановления железа и марганца, будет:

$$\Sigma O_{Mn} = \Delta O_{\Sigma Fe} + \Delta O'_{Mn}, \text{ кг/кг шихты.} \quad (14)$$

Определение стехиометрического расхода углерода.

Согласно диссоциационно-адсорбционному механизму, представленному авторами работы [15], при прямом взаимодействии твердого углерода с оксидами металлов происходит выделение CO и CO_2 . Соотношение компонентов в газовой фазе зависит от дисперсности системы и температуры процесса.

Расход углерода на газификацию кислорода ($G_{C,Mn}$) оксидов железа и марганца из марганцевых отходов определяется с учетом доли образующегося газа CO_2 по химической прочности оксидных фаз по формуле:

$$G_{C,Mn} = 0,75 \cdot 10^{-2} \cdot [(Fe_{общ} - 0,777 \cdot FeO) 0,333 + 0,187 \cdot R_{Fe} \cdot FeO + (0,1455 + 0,2908 \cdot R_{Mn}) \cdot Mn], \text{ кг/кг шихты,} \quad (15)$$

где: $Fe_{общ}$, FeO , Mn – содержание компонентов в шихте, %;

R_{Fe} , R_{Mn} – степень восстановления железа и марганца, %.

Для нашего случая $G_{C,Mn} = 0,2068$ кг, что в пересчете на древесный уголь составит 0,211 кг/кг шихты. С учетом установленного расхода древесного угля рассчитан средневзвешенный химический состав (с учетом корректировки по флюсам) углеросодержащей моношихты, который представлен в табл. 6.

Таблица 6

Химический состав углеродсодержащей моношихты на основе марганцевых отходов от обогащения марганцевых руд Джездинского ГОКа

Кесте 6

Джездин КБК марганец кендерін байытудан алынған марганец қалдықтары негізінде құрамында көміртегі бар моношихтаның химиялық құрамы

Table 6

Chemical composition of carbon-containing mono-charge based on manganese waste from the enrichment of manganese ores of the Dzhezdzinsky GOK

Содержание, % масс.								
Fe	Mn	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	C
12,32	24,38	8,39	3,44	13,06	0,35	0,15	0,15	16,72

Сформированный состав дисперсной шихты фракции ≤ 1,0 мм подвергается дальнейшей обработке для получения металлизированных окатышей. При этом химический состав получаемых окатышей остается таким же, как в табл. 6.

Восстановительная плавка металлизированных окатышей обеспечивает получение ферромарганца заданного состава с минимальным содержанием углерода.

Выводы

1. На основании исследований вещественного состава марганцевых отходов Джездинского ГОКа установлено, что отходы по содержанию железа и марганца практически не пригодны к дальнейшей переработке. Переработка их по традиционной технологии затруднительна. Возможность проведения предварительного обогащения отходов позволяет поднять содержание марганца в конечном продукте до 23%.

2. Показана возможность дальнейшей переработки полученного продукта путем подготовки и компоновки шихты из прокатной окалины и древесного угля. На основании новых подходов к существующей базовой адсорбционно-каталитической теории восстановления оксидов металлов предложен иной подход к низкотемпературному твердофазному восстановлению оксидов металлов твердым углеродом.

3. Приведена методика расчета расхода твердого углерода, который добавляется в шихту с древесным углем,

обеспечивающий получение моношихты в виде металлизированных окатышей.

4. Полученные результаты будут использованы для проведения дальнейших исследований по восстановительной плавке окатышей с получением ферромарганца высокого качества с минимальным содержанием углерода.

Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки

и высшего образования Республики Казахстан на 2023-2025 годы по приоритетному направлению «Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технологии, безопасные изделия и конструкции» проекта AP19576391 «Разработка инновационной технологии получения новых сплавов из накопленных некондиционных многокомпонентных хром-, марганец содержащих отходов с применением Big Data».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рысс М.А. Производство ферросплавов. – М.: Metallurgy. – 1985. – С. 244 (на русском языке)
2. Шишкин Ю.И., Торговец А.К. Современный кислородно-конвертерный процесс: Учебное пособие. – Алматы: Фылым. – 2013. – С. 145 (на русском языке)
3. Юсфин Ю.С., Пашков Н.Ф. Metallurgy железа: Учебник для вузов. – М.: «Академкнига». – 2007. – С. 464 (на русском языке)
4. Гасик М.И., Емлин Б.Н. Электрометаллургия ферросплавов: Теория и технология получения ферросплавов. – Киев, Донецк: Высшая школа. – 1983. – С. 376 (на русском языке)
5. Norberg, N. и др. Использование биомассы в интегрированном производстве стали – статус-кво, будущие потребности и сравнение с другими технологиями производства стали с низким содержанием CO₂. Приложение. Энергия. – 2018. – Т. 213. – С. 384-407 (на английском языке)
6. Mousa E., Wang C., Riesbeck J., Larsson M. Применение биомассы в черной металлургии: обзор проблем и возможностей. Возобновлять. Поддерживать. Энергетический обзор. – 2016. – Т. 65. – С. 1247-1266 (на английском языке)
7. Quader M.A., Ahmed S., Ghazilla R.A.R., Ahmed S., Dahari M.A. Всесторонний обзор энергоэффективных прорывных технологий по выбросу CO₂ для устойчивого производства чугуна и стали. Возобновлять. Поддерживать. Энергетический обзор. – 2015. – Т. 50. – С. 594-614 (на английском языке)
8. Manfe M.M., Attar S.J., Parande M., Topare N.S. Очистка сточных вод, загрязненных Cr (VI), с использованием биосорбентов *Prunus Amygdalus* (Миндаль). Углерод ореховой скорлупы. // Международный журнал химических наук. – 2012. – Том 10. – С. 609-618 (на английском языке)
9. Xu F.Y., Jiang L.H., Dan Z.G. Анализ водного баланса и исследование рециркуляции сточных вод в электролитической марганцевой промышленности Китая – тематическое исследование. // Гидрометаллургия. – 2014. – Т. 149. – С. 12-22 (на английском языке)
10. Duan, N., Wang, F., Zhou, C.B. Анализ загрязняющих веществ, образующихся на предприятиях по производству электролитического марганца в Китае. // Ресурсы, сохранение и переработка отходов. – 2010. – Т. 54. – С. 506-511 (на английском языке)
11. Akar Sen G. Применение полнофакторного экспериментального проектирования и методологии поверхности отклика для обогащения хромита на обогатительной фабрике Кнелсона. // Минералы. – 2016. – Т. 6. – Вып. 1. – С. 5 (на английском языке)
12. Tripathy S.K., Ramamurthy Y., Singh V. Определение содержания хромита в отходах завода методом гравитационного обогащения. // Журнал Минералы и Материалы. Англ. – 2011. – Т. 10. – Вып. 1. – С. 13-25 (на английском языке)
13. Zakharov G., Tavadze G., Oniashvili G. Получение лигатур из отходов марганцевого производства методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. // Порошковая металлургия и керамика. – 2021. – Т. 60. – С. 513-518. – <https://doi.org/10.1007/s11106-021-00263-9> (на английском языке)
14. Tleugabulov S.M., Ryzhonkov D.I., Altybayeva D.Kh., Koishina G.M. Ограничение результатов карбонизации металла при реализации процесса «Руда-сталь». // Международный журнал химических наук. Индия. – 2015. – Т. 13(1). – С. 391-402 (на английском языке)
15. Тажиев Е.Б., Тлеугабулов С.М., Койшина Г.М. Воздушно-гравитационное обогащение марганцевых отходов. Международная научно-практическая конференция «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях. Индустрия 4.0». 14-15 марта. – Алматы: КазНУТУ. – 2019. – С. 374-377 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Рысс М.А. Ферроқорытпа өндірісі. – М.: Metallurgy. – 1985. – Б. 244 (орыс тілінде)
2. Шишкин Ю.И., Торговец А.К. Заманауи оттегі түрлендіргіш процесі: оқу құралы. – Алматы: Фылым. – 2013. – Б. 145 (орыс тілінде)

3. Юсфин Ю.С., Пашков Н.Ф. Темір металлургиясы: жоғары оқу орындарына арналған оқулық. – М.: «Академик Кітап». – 2007. – Б. 464 (орыс тілінде)
4. Гасик М.И., Емлин Б.Н. Ферроқорытпалардың электрометаллургиясы: ферроқорытпаларды өндіру теориясы мен технологиясы. – Киев, Донецк: Жоғары мектеп. – 1983. – Б. 376 (орыс тілінде)
5. Norberg N. және т. б. Біріктірілген болат-статус-кво өндірісінде биомассаны пайдалану, болашақ қажеттіліктер және басқа CO₂ төмен болат өндіру технологияларымен салыстыру. Қосымша. Энергия. – 2018. – Т. 213. – Б. 384-407 (ағылшын тілінде)
6. Mousa E., Wang C., Riesbeck J., Larsson M. Қара металлургияда биомассаны қолдану: проблемалар мен мүмкіндіктерге шолу. Жалғастыру. Қолдау. Энергетикалық шолу. – 2016. – Т. 65. – Б. 1247-1266 (ағылшын тілінде)
7. Quader M.A., Ahmed S., Ghazilla R.A.R., Ahmed S., Dahari M.A. Шойын мен болатты тұрақты өндіруге арналған энергияны үнемдейтін серпінді CO₂ шығару технологияларына жан-жақты шолу. Жалғастыру. Қолдау. Энергетикалық айналым. – 2015. – Т. 50. – Б. 594-614 (ағылшын тілінде)
8. Manfe M.M., Attar S.J., Parande M., Topare N.S. Cr (VI) ластанған ағынды суларды Prunus Amygdalus (бадам) жаңғақ қабығының көміртегі биосорбенттерін қолдану арқылы тазарту. Халықаралық химия ғылымдары журналы. – 2012. – Т. 10. – Б. 609-618 (ағылшын тілінде)
9. Xu F.Y., Jiang L.H., Dan Z.G. Су балансын талдау және Қытайдың электролиттік марганец өнеркәсібіндегі ағынды суларды кәдеге жаратуды зерттеу – жағдайлық зерттеу. // Гидрометаллургия. – 2014. – Т.149. – Б. 12-22 (ағылшын тілінде)
10. Duan N., Wang F., Zhou C.B. Қытайдағы электролиттік марганец зауыттарында пайда болатын ластаушы заттарды талдау. // Ресурстар, қалдықтарды сақтау және қайта өңдеу. – 2010. – Т. 54. – Б. 506-511 (ағылшын тілінде)
11. Akar Sen G. Кнелсонның байыту фабрикасында хромитті байыту үшін толық факторлы эксперименттік дизайн мен жауап бетінің әдістемесін қолдану. Минералдар. – 2016. – Т. 6. – Шығ. 1. – Б. 5 (ағылшын тілінде)
12. Tripathy S.K., Ramamurthy Y., Singh V. Гравитациялық байыту әдісімен зауыт қалдықтарындағы хромит құрамын анықтау. Журнал минералдар мен материалдар. Ағылш. – 2011. – Т. 10. – Шығ. 1. – Б. 13-25 (ағылшын тілінде)
13. Zakharov G., Tavadze G., Oniashvili G. Өздігінен таралатын жоғары температуралы синтез әдісімен марганец өндірісінің қалдықтарынан лигатуралар алу. // Ұнтақ металлургия және керамика. – 2021. – Т. 60. – Б. 513-518. – <https://doi.org/10.1007/s11106-021-00263-9> (ағылшын тілінде)
14. Pleugabulov S.M., Ryzhonkov D.I., Altybayeva D.Kh., Koishina G.M. «Кен-Болат» процесін жүзеге асыруда металл карбонизациясының нәтижелерін шектеу. // Халықаралық химия ғылымдары журналы. Үндістан. – 2015. – Т. 13(1). – Б. 391-402 (ағылшын тілінде)
15. Тажиев Е.Б., Тлеугабулов С.М., Койшина Г.М. Марганец қалдықтарын ауа-гравитациялық байыту. «Индустрия 4.0 жағдайында минералды және техногендік шикізатты ұтымды пайдалану» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы». 14-15 наурыз. Алматы: ҚазҰТЗУ. – 2019. – Б. 374-377 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Ryss M.A. Proizvodstvo ferrosplavov [Production of ferroalloys]. // М.: Metallurgiya. = М.: Metallurgy. – 1985. – P. 244 (in Russian)
2. Shishkin Yu.I., Torgovets A.K. Sovremennyy kislorodno-konvertorny protsess: Uchebnoe posobie [Modern oxygen converter process: Textbook.]. // Almaty: Gylym. = Almaty: Science. – 2013. – P. 145 (in Russian)
3. Yusfin Yu.S., Pashkov N.F. Metallurgiya jeleza: Uchebnik dlia vuzov [Metallurgy of iron: Textbook for universities]. // М.: «Akademkniga». = М.: «Academic book». – 2007. – P. 464 (in Russian)
4. Gasik M.I., Emlin B.N. Elektrometallurgiya ferrosplavov: Teoriya i tehnologiya polucheniya ferrosplavov [Electrometallurgy of ferroalloys: Theory and technology of obtaining ferroalloys]. // Kiev, Donetsk: Vysshaya shkola. = Kiev, Donetsk: Higher School. – 1983. – P. 376 (in Russian)
5. Norberg N.; et al. Use of biomass in integrated steelmaking – Status quo, future needs and comparison to other low-CO₂ steel production technologies. Appl. Energy. – 2018. – Vol. 213. – P. 384-407 (in English)
6. Mousa E., Wang C., Riesbeck J., Larsson M. Biomass applications in iron and steel industry: An overview of challenges and opportunities. Renew. Sustain. Energy Rev. – 2016. – Vol. 65. – P. 1247-1266 (in English)

7. Quader M.A., Ahmed S., Ghazilla R.A.R., Ahmed S., Dahari M.A. Comprehensive review on energy efficient CO₂ breakthrough technologies for sustainable green iron and steel manufacturing. *Renew. Sustain. Energy Rev.* – 2015. – Vol. 50. – P. 594-614 (in English)
8. Manfe M.M., Attar S.J., Parande M., Topare N.S. Treatment Of Cr (VI) Contaminated waste water Using Biosorbent Prunus Amygdalus (Almond) Nut Shell Carbon. *International Journal of Chemical Sciences.* – 2012. – Vol. 10. – P. 609-618 (in English)
9. Xu F.Y., Jiang L.H., Dan Z.G. Water balance analysis and wastewater recycling investigation in electrolytic manganese industry of China – a case study. // *Hydrometallurgy.* – 2014. – Vol. 149. – P. 12-22 (in English)
10. Duan N., Wang F., Zhou C.B. Analysis of pollution materials generated from electrolytic manganese industries in China. // *Resources, Conservation and Recycling.* – 2010. – Vol. 54. – P. 506-511 (in English)
11. Akar Sen G. Application of full factorial experimental design and response surface methodology for chromite beneficiation by Knelson concentrator. *Minerals.* – 2016. – Vol. 6. Iss. 1. – P. 5 (in English)
12. Tripathy S.K., Ramamurthy Y., Singh V. Recovery of chromite values from plant tailings by gravity concentration. *J. Miner. Mater. Charact. Eng.* – 2011. – Vol. 10. – Iss. 1. – P. 13-25 (in English)
13. Zakharov G., Tavazde G., Oniashvili G. Obtaining of Ligatures from Manganese Production Wastes by Self-Propagating High-Temperature Synthesis. // *Powder Metall Met Ceram.* – 2021. – Vol. 60. – P. 513-518. – <https://doi.org/10.1007/s11106-021-00263-9> (in English)
14. Tleugabulov S.M., Ryzhonkov D.I., Altybayeva D.Kh., Koishina G.M. Limitation of metal carbonization results in implementation of «Ore-Steel» process. // *International Journal of Chemical Sciences. India.* – 2015. – Vol.13(1). – No2. – P. 391-402 (in English)
15. Tazhiev E.B., Tleugabulov S.M., Koishina G.M. Vozdushno-gravitatsionnoe obogaenie maragntsevykh othodov. [Air-gravity enrichment of manganese waste]. // *Mejdunarodnaia nauchno-prakticheskaja konferentsiia «Ratsionalnoe ispolzovanie mineralnogo i tehnogennoogo syria v usloviiah Industrii 4.0».* = International scientific and practical conference «Rational use of mineral and man-made raw materials in the conditions of Industry 4.0» 14-15 marta. Almaty: KazNITU. = March 14-15. – Almaty: KazNITU. – 2019. – P. 374-377 (in Russian)

Сведения об авторах:

Тажиев Е.Б., PhD, старший преподаватель «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» (г. Алматы, Казахстан), eleusiz_t1990@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1955-8584>

Жолдасбай Е.Е., PhD, ведущий научный сотрудник «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» (г. Алматы, Казахстан), zhete@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9925-4435>

Аргын А.А., PhD, старший научный сотрудник «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» (г. Алматы, Казахстан), aidarargyn@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5001-4687>

Койшина Г.М., PhD, ассоциированный профессор «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» (г. Алматы, Казахстан), gulzik_84@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0592-3843>

Авторлар туралы мәліметтер:

Тажиев Е.Б., PhD, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының аға оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан)

Жолдасбай Е.Е., PhD, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының жетекші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Аргын А.А., PhD, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының аға ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Койшина Г.М., PhD, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Tazhiev Ye.B., PhD, Senior lecturer of the Department «Metallurgy and Mineral Processing» (Almaty, Kazakhstan)

Zholdasbay Ye.Ye., PhD, Leading researcher of the Department «Metallurgy and Mineral Processing» (Almaty, Kazakhstan)

Argyn A.A., PhD, Senior Researcher of the Department «Metallurgy and Mineral Processing» (Almaty, Kazakhstan)

Koishina G.M., PhD, Associate professor of the Department «Metallurgy and Mineral Processing» (Almaty, Kazakhstan)