



В. С. Куцин /д. т. н./, В. И. Ольшанский

ПАО «Никопольский завод ферросплавов»,  
г. Никополь, Украина  
e-mail: 01@nzf.com.ua

С. П. Шуваев

ПАО «Орджоникидзевский горно-  
обогачительный комбинат» г. Покров, Украина,  
e-mail: spshuvaev@gmail.com

М. И. Гасик /д. т. н./

Национальная металлургическая академия  
Украины, г. Днепро, Украина  
e-mail: tehnosplavy@ua.fm

Ю. С. Пройдак /д. т. н./

Национальная металлургическая академия  
Украины, г. Днепро, Украина  
e-mail: projdak@metal.nmetau.edu.ua

## Разработка и промышленное освоение технологии производства марганцевого агломерата АМ-2 с вовлечением в аглошихту концентрата обогащения шламов отработанного шламонакопителя

V. S. Kutsyn /Dr. Sci. (Tech.)/, V. I. Olshansky

PLC "Nikopol Ferroalloys Plant", Nikopol, Ukraine  
e-mail: 01@nzf.com.ua

S. P. Shuvaev

PLC "Ordzhonikidze Ore-Dressing Plant",  
Pokrov, Ukraine

M. I. Gasik /Dr. Sci. (Tech.)/

National metallurgical Academy of Ukraine,  
Dnipro, Ukraine  
e-mail: tehnosplavy@ua.fm

Y. S. Proydak /Dr. Sci. (Tech.)/

National Metallurgical Academy of Ukraine,  
Dnipro, Ukraine  
e-mail: projdak@metal.nmetau.edu.ua

## Development and industrial implementation of manganese agglomerate AM-2 technology with utilization of concentrate of the tailings dressing from used tailings tank

**Цель.** Разработка технологии использования мелкофракционного марганцевого концентрата в условиях ПАО «Никопольский завод ферросплавов», получаемого из шламов обогащения марганцевых руд на Орджоникидзевском горно-обогательном комбинате.

**Методика.** Проведение промышленных исследований по выбору рациональных режимов производства марганцевого агломерата с использованием мелкофракционного марганцевого концентрата и выплавки из агломерата марганцевых ферросплавов, выбор представительных данных, определение переменных, проведение промышленных исследований по использованию полученного агломерата при производстве ферросплавов.

**Результаты.** Проведенные исследования позволили разработать и внедрить в промышленном масштабе эффективную технологию окускования мелкофракционного марганцевого концентрата фракции 0–1 мм, позволяющую получать стандартный марганцевый агломерат с требуемыми прочностными характеристиками для выплавки малофосфористого шлака при сохранении оптимальной производительности действующего технологического оборудования агломерационного цеха ПАО НЗФ.

**Научная новизна.** Впервые в практике производства марганцевого агломерата в составе аглошихты показана возможность промышленного использования сырьевых материалов, полученных из шламов, образованных в виде побочного продукта при обогащении марганцевых руд для товарных марганцевых концентратов.

**Практическая значимость.** Разработанная и внедренная технология позволяет вовлечь в производство марганцевое сырье техногенных источников образования, заменив им часть низкофосфористых импортных руд и уменьшить загрязнение окружающей среды. (Ил. 3. Табл. 5. Библиогр.: 6 назв.)

**Ключевые слова:** марганцевый концентрат, обогащение отвальных шламов, параметры агломерации, производство ферросплавов, охрана окружающей среды.

**Постановка проблемы.** Интенсификация производства, рациональное использование материальных и энергетических ресурсов, защита окружающей среды на базе мало- и безотходных технологических схем являются важнейшими направлениями дальнейшего развития черной металлургии, в частности одной из наиболее энергоемких ее отраслей – ферросплавной промышленности [1; 4; 5].

В процессе промышленной эксплуатации Никопольского месторождения марганцевых руд при получении товарных марганцевых концентратов в виде побочного продукта обогащения марганцевого сырья было образовано значительное количество шламов. В частности на Орджоникидзевском горно-обогатительном комбинате (ОГОК) их балансовые запасы превышают 130 млн т. Шламы ОГОК содержат 8–15 % марганца, 0,15–0,25 % фосфора, 25–30 % кремнезема, 1,5–4 % оксидов кальция и магния соответственно и 2–4 % железа. В настоящее время на ОГОК разработана и внедрена технологическая схема обогащения отвальных шламов методом высокоинтенсивной магнитной сепарации с получением мелкофракционного оксидного зернистого марганцевого концентрата, на который разработаны и действуют технические условия «Концентраты марганцевые зернистые» ТУ У 07.2-00190928-007:2012. Требования к качественным характеристикам мелкофракционно-

го оксидного зернистого концентрата представлены в табл. 1.

С начала производства в 2012 г. по настоящее время на заводе использовано 164,6 тыс. т концентрата оксидного зернистого II сорта фракции 0–1 мм и 38,0 тыс. т фракции 1–10 мм. При этом концентрат 1–10 мм может использоваться по обычной схеме для Никопольского марганцевого сырья, а использование концентрата фракции 0–1 мм из-за мелкого фракционного состава требует дополнительных технологических приемов.

Фактические качественные характеристики мелкофракционного оксидного зернистого концентрата фракции 0–1 мм представлены в табл. 2 и 3.

**Формулировка цели.** Разработка технологии использования мелкофракционного марганцевого концентрата, получаемого из шламов на ОГОК в условиях ПАО «Никопольский завод ферросплавов» для производства агломерата для малофосфористого марганцевого шлака. Показатели процесса спекания и прочностные характеристики агломерата в значительной степени определяются газодинамическим сопротивлением слоя шихты, которое зависит от ее однородности, фракционного состава, равномерности распределения топлива и влаги по всему объему слоя. Целью работы являлась оптимизация указанных параметров для макси-

Таблица 1

**Качественные характеристики мелкофракционного оксидного зернистого марганцевого концентрата (ТУ У 07.2-00190928-007:2012)**

Наименование продукции	Сорт	Класс крупности, мм	Содержание фракции 1–10 мм, %	Массовая доля марганца не менее %	Массовая доля влаги, не более %
Концентрат марганцевый оксидный зернистый	II	1–10	Не менее 65,0	34,0	22,0
	II	0–1	Не более 15,0	34,0	23,0
	ВМС*	0–1	Не более 15,0	26,0	23,0

\*Аббревиатура ВМС в обозначении сорта расшифровывается как высокомагнитная сепарация

Таблица 2

**Химический состав оксидного зернистого концентрата**

Наименование	Mn	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	P	п.п.п.	W
Содержание, % масс.	33,3	26,2	2,2	2,0	2,1	4,5	0,17	12,7	22,1

Таблица 3

**Гранулометрический состав оксидного зернистого концентрата**

Размер зерна, мм	0–0,063	0,063–0,1	0,1–0,4	0,4–1,0	>1,0
Содержание, % масс.	1,9	44,0	23,4	26,8	3,9

мального использования в процессе агломерации мелкофракционного концентрата.

**Фактический материал.** В основу работы положены результаты проведенных в августе 2014 г. исследований по производству агломерата с использованием оксидного зернистого концентрата и промышленное внедрение результатов работы ПАО «Никопольский завод ферросплавов» в 2015–2016 гг. при производстве ферросплавов.

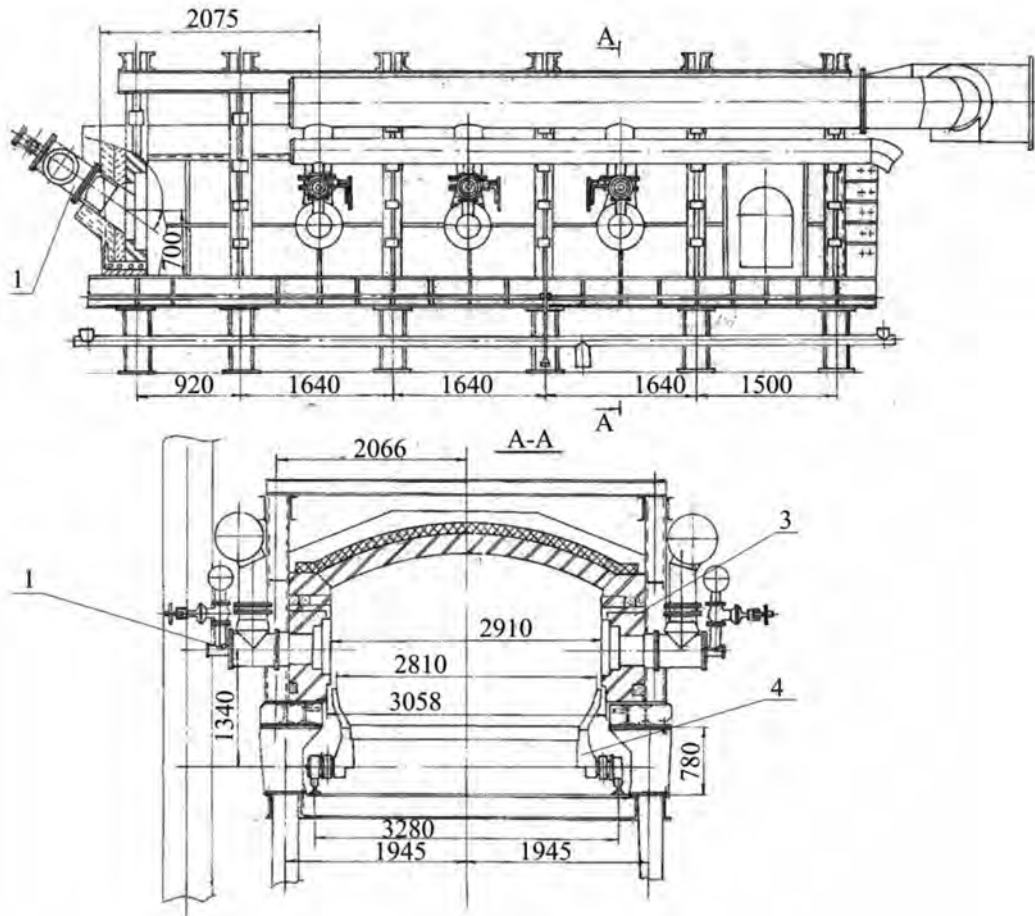
**Изложение основного материала.** Окускование мелких фракций марганцевого сырья в условиях ПАО НЗФ осуществляется методом агломерации. Для реализации процесса используются агломашинны типа АКМ-5-105 с площадью спекания 115 м<sup>2</sup> и скоростью движения аглоленты 1,5–6,0 м/мин. Зажигание агломерационной шихты производится феррогазом, в исключительных случаях природным газом, в начальном периоде процесса. Аглошихту зажигают при помощи горна камерного типа с подвесным сводом (рис. 1). Феррогаз (82–88 % СО, 2–3 % СО<sub>2</sub>, 4–6 % Н<sub>2</sub>) сжигается в турбулентных горелках. Количество горелок – 8, при этом 6 горелок установлены в боковых стенках горна (по

3 с каждой стороны) и 2 в задней торцевой стенке. Воздух для горения подается вентилятором ВДН-12,5.

Нормальное зажигание аглошихты обеспечивается: соотношением газ-воздух, которое регулируется как в ручном, так и в автоматическом режиме; давлением феррогаза в цеховом коллекторе не менее 300 мм вод. ст. и содержанием СО в феррогазе не менее 65 %.

В качестве компонентов аглошихты используются увлажненные марганцевые руды и концентраты; кокс и антрацит; вторичное марганцевое сырьё, состоящее из пыли систем сухой газоочистки и шламов мокрой очистки газов; при необходимости известняк. Технологические параметры процесса агломерации марганцевого сырья на ПАО НЗФ приведены в табл. 4.

Начальной стадией процесса агломерации марганцевого сырья является зажигание шихты, осуществляемое при температуре ~1200 °С. В результате сгорания углерода топлива, а также интенсивной подачи воздуха в зоне горения создается высокая температура (1200–1400 °С). В процессе нагрева зерна руды и концентрата обезвоживаются, а затем размягчаются с частичным



**Рис. 1. Горн камерного типа для зажигания аглошихты при производстве марганцевого агломерата на агломашине АКМ-5-105 аглоцеха ПАО НЗФ:**

1 – боковые горелки; 2 – горелки задней стенки; 3 – скобы для футеровки горна; 4 – тележка агломашинны

Основные технологические параметры процесса агломерации

№ п/п	Параметры	Значения
1	Содержание углерода в аглошихте, %	6,3–6,5
2	Высота слоя шихты на ленте, мм: – до уплотнения – после уплотнения	370–400 340–365
3	Степень уплотнения аглошихты, %	8–9
4	Температура зажигания, °С	1150–1250
5	Разрежение перед эксгаустером, кПа	9–10
6	Температура перед эксгаустером, °С	75–90
7	Рабочая скорость движения аглоленты, м/мин	1,6–3,2
8	Содержание в агломерате мелочи фракции 0–5 мм, %	7,3–7,6
9	Выход возврата при агломерации, %	25–35

образованием жидких фаз. Аглошихта частично или полностью сплавляется, впоследствии при продолжении подачи воздуха быстро остывает и кристаллизуется, образуя пористый спек. Температура спеченного агломерата по окончании процесса горения топлива составляет 800–900 °С. В дальнейшем осуществляется его принудительное охлаждение на машине конвейерного типа с непрерывным способом загрузки горячего агломерата. Охлажденный агломерат по системе конвейеров подается непосредственно в дозирочные бункеры рудовосстановительных электропечей.

Качество марганцевого агломерата в значительной степени определяется его химическим составом и минералогическими особенностями шихтовых компонентов. В условиях ПАО НЗФ для выплавки ферросиликомарганца обычно используется марганцевый агломерат, спеченный из оксидных и карбонатных концентратов Никопольского месторождения, передельный шлак высокоуглеродистого ферромарганца, малофосфористый марганцевый шлак и импортные руды Ганы, ЮАР, Бразилии, Габона, при необходимости применяемые в различных соотношениях в составе аглошихты для производства низкофосфористых сплавов. Химический состав типичного исходного марганцевого сырья для спекания и состав агломерата приведены в табл. 5.

В составе марганцевого агломерата в основном присутствуют следующие фазы: тефроит ( $2\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$ ), гаусманит ( $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ), якобит ( $\text{MnFe}_2\text{O}_4$ ), двухкальциевый силикат ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), твердые растворы ( $\text{CaO}\text{-MnO}_x\text{-MgO}$ ) и стекловидная фаза [3; 6].

Газодинамика агломерационного процесса, подробно изложенная в работе [2], в общем виде описывается уравнением:

$$\Delta p = h\rho w(k_1v + k_2w),$$

где  $\Delta p$  – потеря давления газа,  $h$  – высота слоя аглошихты,  $\rho$  – плотность газа,  $w$  – скорость фильтрации газа,  $v$  – кинематическая вязкость газа,  $k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты газодинамического сопротивления.

Фракционный состав материалов, обеспечивающий оптимальные технологические параметры процесса спекания и газодинамического сопротивления аглошихты в условиях ПАО НЗФ, составляет: марганцевые концентраты – 3–10 мм, аглотопливо – 1–5 мм, флюс – 1–3 мм.

Малофосфористый шлак, на выплавку которого в соответствии с целью работы планируется использование оксидного зернистого концентрата фракции 0–1 мм, производится из агломерата, в состав которого входят окисные Никопольские руды. На первоначальном этапе разработки технологии производства агломерата с применением концентрата марганцевого ок-

Таблица 5

Химический состав исходного марганцевого сырья и агломерата на ПАО НЗФ

№ п/п	Наименование	Химический состав, масс. %							
		Mn	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	P	П.П.П.
1	Оксидный концентрат I сорта	44–47	10–12	1,5–3	1–2	1–2	1,5–2	0,17–0,2	11–13
2	Оксидный концентрат II сорта	35–38	20–22	2–4	1,5–2	1,5–2	1,5–2	0,17–0,2	12–15
3	Карбонатный концентрат	27–29	15–19	8–11	1,5–2	1,5–2	1,5–2	0,19–0,23	23–28
4	Карбонатная руда (Гана)	27–30	13–15	5–7	5–7	2–2,5	0,8–1,2	0,06–0,09	28–30
5	Марганцевый агломерат	37–40	20–24	7–10	2–6	2–3	2–4	0,08–0,19	0–3



сидного зернистого фракции 0–1 мм, получаемого из шламов на ОГОК, были предприняты попытки его непосредственного использования в составе шихты для спекания марганцевого агломерата взамен части оксидного концентрата II сорта. Проведенные промышленные испытания показали, что введение в состав аглошихты мелкофракционного марганцевого концентрата в количестве более 5 % приводит к значительному снижению производительности агломашин и прочностных характеристик агломерата (рис. 2). Ухудшение технологического процесса агломерации и качества агломерата было вызвано резким увеличением газодинамического сопротивления шихты.

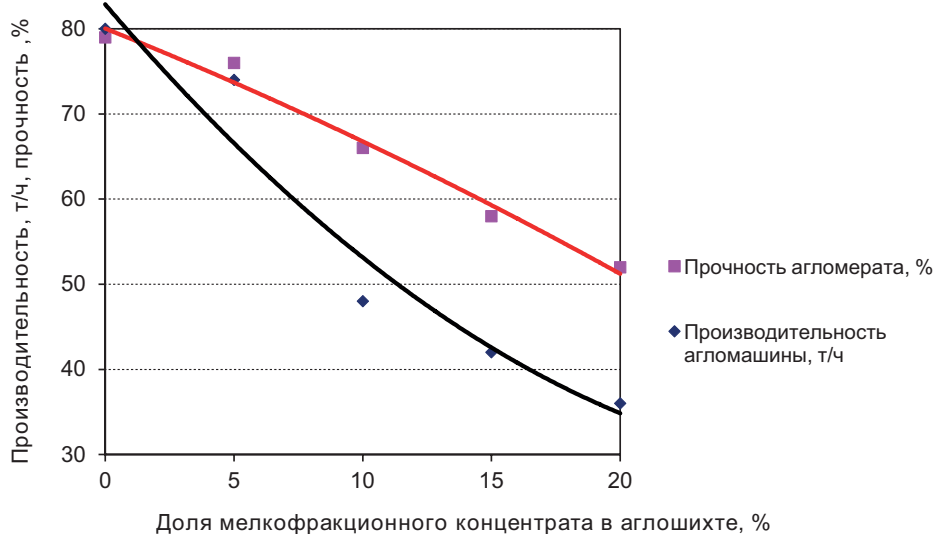
На основании проведенных экспериментов был сделан вывод, что гранулометрический состав мелкофракционного марганцевого концентрата исключает возможность его эффективно использования без предварительной оптимизации агломерационного процесса. Исследования осуществляли поэтапно, работа была направлена на изменение технологических параметров и увеличение производительности, а именно:

- изменение состава аглошихты, обеспечивающего заданный химический состав агломерата;
- регулирование расхода аглотоплива;
- выбор оптимальной высоты слоя аглошихты и скорости движения аглоленты;
- определение температуры газов в коллекторе и разрежения в вакуум-камерах.

При этом были откорректированы вещественный состав аглошихты, расход аглотоплива и возврата. Частичная (20 %) замена окисной руды карбонатной рудой позволила увеличить зернистость подаваемой шихты. Навеска аглотоплива составляла 6,5 %. Спекание производилось при

высоте слоя шихты 340–350 мм, скорости 1,8 м/мин, температуре зажигания 1000 °С. Производили подачу воды на орошение в барабанном окомкователе. При данных параметрах отмечено повышение температуры в коллекторе получистого газа до 110–130 °С. Разрежение в коллекторе получистого газа уменьшилось до 650–800 кг/м<sup>2</sup>. Данные показатели указывают на улучшение теплового и газового режима спекания агломерата. Производительность агломашин составляла 48–60 т/ч, накопление возврата не происходило. В разгрузочной части агломашин пирог агломерата приобрел вид с выраженной зоной горения на колосниковой решетке. Неспекшейся аглошихты не наблюдалось. Характер дробления пирога указывал на удовлетворительную прочность полученного агломерата.

При проведении исследований производилось спекание аглошихт с содержанием мелкофракционного концентрата 5–20 %, навески остальных марганецсодержащих материалов рассчитывались исходя из получения в марганцевом агломерате стандартного содержания марганца. Спекание производилось при высоте слоя аглошихты 340–350 мм, скорости 1,6–2,4 м/мин, температуре зажигания 1000–1200 °С. Содержание углерода в аглошихте составляло 6–6,3 %. Спеченный пирог агломерата имел вид с выраженной зоной горения перед колосниковой решеткой высотой до 1/5 пирога, наблюдалось отсутствие очагов горения на изломе пирога агломерата. Производительность агломашин составила 66 т/ч, выход возврата находился в пределах 30–35 %, прочность агломерата – 76–76,5 %. Изменение технологических параметров процесса агломерации в зависимости от доли мелкофракционного концентрата в составе аглошихты в период освоения технологии показана на рис. 3.



**Рис. 2. Изменение производительности агломашин и прочности агломерата в зависимости от доли мелкофракционного концентрата в аглошихте**

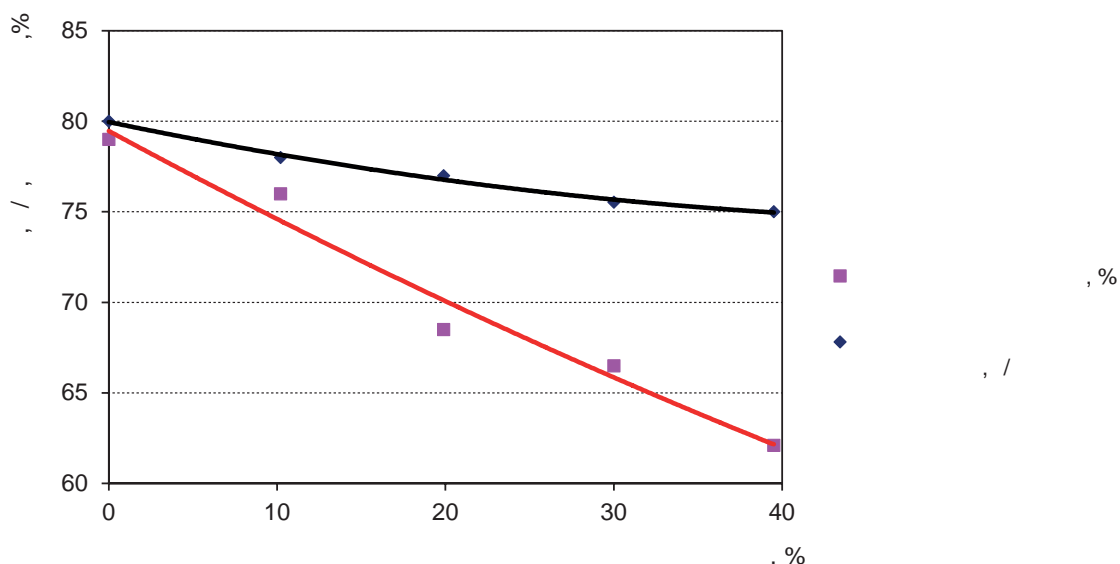


Рис. 3. Изменение производительности агломашины и прочности агломерата в зависимости от доли мелкофракционного концентрата в аглошихте в период освоения технологии

Оптимальные параметры агломерационного процесса, как видно из рис. 3, сохраняются при доле мелкофракционного концентрата в составе шихты 15 %.

Малофосфористый шлак из агломерата с мелкофракционным марганцевым концентратом содержит до 40 % Mn, 30–33 % SiO<sub>2</sub>, 7–8 % CaO, до 0,03 % P, порядка 3 % MgO и 3,5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, что позволяет производить с его использованием малофосфористый марганцевый шлак для выплавки ферросиликомарганца с пониженным содержанием фосфора.

#### Выводы

1. Проведенные исследования позволили разработать и внедрить в промышленном масштабе эффективную технологию использования мелкофракционного марганцевого концентрата фракции 0–1 мм, позволяющую получать стандартный марганцевый агломерат с требуемыми прочностными характеристиками для выплавки малофосфористого шлака при сохранении оптимальной производительности действующего технологического оборудования агломерационного цеха ПАО НЗФ.

2. Разработанная и внедренная технология позволяет вовлечь в производство марганцевое сырье техногенных источников образования, заменив им часть низкофосфористых импортных руд, поставляемых на завод из стран Африки, Австралии, Южной Америки и уменьшить загрязнение окружающей среды.

#### Библиографический список / References

1. Гасик М. И. Марганец / М. И. Гасик. – М.: Metallurgiya, 1992. – 608 с.  
Gasik M. I. *Marganets*. Moscow, Metallurgiya, 1992, 608 p.

2. Коротич В. И. Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке / В. И. Коротич. – М.: Metallurgiya 1978. – 208 с.

Korotich V. I. *Osnovy teorii i tehnologii podgotovki syrya k domennoy plavke*. Moscow, Metallurgiya, 1978, 208 p.

3. Совершенствование технологии производства марганцевого агломерата / А. В. Коваль, С. Г. Грищенко, П. Ф. Мироненко [и др.] / Актуальные проблемы и перспективы электрометаллургического производства. ГНПП «Системные технологии», 1999. – С. 129–134.

Koval A. V., Grischenko S. G., Mironenko P. F. *Sovershenstvovanie tehnologii proizvodstva margantseвого aglomerata*. Aktualnyie problemy i perspektivy elektrometallurgicheskogo proizvodstva. GNPP "Sistemnyie Tehnologii", 1999, pp. 129-134.

4. Курсом ускорения научно-технического прогресса / И. И. Люборец, Г. Д. Ткач, Б. Ф. Величко // Сталь. – 1996. – № 2. – С. 3–5.

Lyuborets I. I., Tkach G. D., Velichko B. F. *Kursom uskoreniya nauchno-tehnicheskogo progressa*. Stal, 1996, no. 2, pp. 3-5.

5. Проблемы научно-технического обеспечения развития металлургии Украины / С. Г. Грищенко, В. М. Полещук, Л. Г. Тубольцев, А. Ф. Гринев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1997. – № 1. – С. 1–3.

Grischenko S. G., Poleschuk V. M., Tuboltsev L. G., Grinev A. F. *Problemy nauchno-tehnicheskogo obespecheniya razvitiya metallurgii Ukrainyi*. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyishlennost, 1997, no. 1, pp. 1-3.

6. Структурные превращения окисных и карбонатных марганцевых концентратов при термообработке / В. М. Сиваченко, А. Н. Овча-

рук, И. Г. Кучер / Актуальные проблемы и перспективы электрометаллургического производства. ГНПП «Системные технологии». – 1999. – С. 118–12.

Sivachenko V. M., Ovcharuk A. N., Kucher I. G. *Strukturnyie prevrascheniya okisnyih i karbonatnyih margantsevyih kontsentratorov pri termoobrabotke. Aktualnyie problemy i perspektivy elektrometallurgicheskogo proizvodstva. GNPP "Sistemnyie Tehnologii"*, 1999, pp. 118-121.

**Purpose.** Development of the technology for utilization of the fine-grained manganese concentrate at PLC "Nikopol Ferroalloys Plant", made from manganese ore-dressing tailings of PLC "Ordzhonikidze Ore-Dressing Plant"

**Methodology.** Carrying out industrial experiments for optimal procedures selection for manganese agglomerate production using fine-grained manganese concentrate and smelting of manganese ferroalloys from this agglomerate; analysis and selection of the representative data; variables definition; industrial tests for utilization of this agglomerate for manganese ferroalloys production.

**Findings.** Development and implementation of the effective technology for agglomeration of the fine-

grained manganese concentrate (0–1 mm), which allowed production of the standard grade manganese agglomerate with required strength for smelting of the low-phosphorus manganese slag, preserving optimal production capacity of the PLC "Nikopol Ferroalloys Plant".

**Originality.** For the first time shown that products of the tailings of the by-products of the manganese ore-dressing process, can be processed into good quality manganese agglomerate suitable for the industrial smelting of manganese ferroalloys.

**Practical value.** Developed and deployed technology allowed utilization and recycling of manganese raw materials from residuals and tailings, partially substituting imported low-phosphorus ores and reducing environmental contamination.

**Key words:** manganese concentrate, residual tailing dressing, agglomeration parameters, ferroalloys processing, environmental protection.

Рекомендована к публикации  
д. т. н. М. И. Гасиком.

Поступила 03.11.2016

