

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**

**ШУВАЄВ СЕРГІЙ ПАВЛОВИЧ**

**УДК 669.15'03241-168:622.341(043.3)**

**РОЗРОБКА, ОСВОЄННЯ І ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ  
ВИРОБНИЦТВА МАРГАНЦЕВОГО АГЛОМЕРАТУ ТА  
МАРГАНЦЕВИХ ФЕРОСПЛАВІВ З ВИКОРИСТАННЯМ  
КОНЦЕНТРАТУ ВИСОКО ІНТЕНСИВНОЇ МАГНІТНОЇ СЕПАРАЦІЇ  
ШЛАМУ**

**Спеціальність 05.16.02 – «Металургія чорних і  
кольорових металів та спеціальних сплавів»**

**136 Металургія**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**дисертації на здобуття наукового ступеня**

**кандидата технічних наук**

**Дніпро – 2018**

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національній металургійній академії України Міністерства освіти і науки України (м. Дніпро) і на АТ «Покровський гірничо-збагачувальний комбінат» (м. Покров, Дніпропетровська обл).

**Науковий керівник:** академік НАН України, доктор технічних наук, професор  
**ГАСИК МИХАЙЛО ІВАНОВИЧ**,  
Національна металургійна академія України Міністерства освіти і науки України (м. Дніпро),  
завідувач кафедри електрометалургії

**Захист відбудеться** у Національній металургійній академії України, м. Дніпро

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**ГРИЦЕНКО СЕРГІЙ ГЕОРГІЙОВИЧ**,  
ТОВ «Центр управління проектами в області геологічної розвідки, видобутку і переробки металургійної сировини»,  
м. Київ, Генеральний директор

кандидат технічних наук,  
**СИВАЧЕНКО ВІКТОР МИХАЙЛОВИЧ**,  
Державне підприємство «Український державний науково-дослідний інститут спеціальних сталей, сплавів та феросплавів», м. Запоріжжя, Головний консультант з феросплавного виробництва

Захист відбудеться «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р. о \_\_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.084.03 при Національній металургійній академії України за адресою: 49600, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 4.

Факс: +38(0562)47-44-61. E-mail: lydmila\_kamkina@ukr.net.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національної металургійної академії України (49600, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 4).

Автореферат розісланий «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

**Вчений секретар**  
Спеціалізованої вченої ради Д 08.084.03,  
доктор технічних наук, професор

Л.В.Камкіна

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Однією із пріоритетних задач гірничо-металургійного комплексу України, щодо раціонального використання марганцю родовища Нікопольського марганцеворудного басейну, є розробка і впровадження на усіх стадіях наскрізної технологічної схеми ефективних технологій видобутку і збагачення руди, агломерації концентратів і виплавки марганцевих феросплавів широкого сортаменту, які забезпечують підвищення коефіцієнта корисного вилучення марганцю із руди і виплавку конкурентоспроможних на міжнародному ринку феросплавної продукції марганцевих феросплавів. За діючими технологіями збагачення оксидної марганцевої руди Покровського родовища на збагачувальних фабриках АТ ПГЗК корисне вилучення марганцю із початкової руди зі вмістом марганцю (22,84% Mn, 2010р.; 24,32% Mn, 2016р.) у концентрати становило 70,0% (2010р.) і 68,4% (2016р.). При цьому вихід концентратів складав 38,3% (2010р.) і 34,0% (2016р.), а відвального шламу в кількості 59,64% з вмістом Mn 11,2-12,8%. За роки експлуатації збагачувальних виробничих потужностей АТ «ПГЗК» у шламонакопичувачах закладовано на 01.01.2016р. 129 млн. т шламу, у тому числі «Криві Луки» 63,4 млн. т (12,8 % Mn) і «Чкалівська збагачувальна фабрика» (ЧЗФ) 65,6 млн. т (11,19% Mn). В ці роки застосування високо інтенсивної мокрої магнітної сепарації (ВММС) шламів відпрацьованих шламонакопичувачів з виробництвом сертифікованих концентратів не набуло широкого поширення. Практично відсутні також дані щодо наукового обґрунтування виробництва агломерату із використанням концентрату ВММС шламу класу крупності 1–0 мм і виплавки марганцевих феросплавів з використанням агломерату АМ-2. Наведені вище матеріали свідчать, що розробка, дослідно-промислове освоєння і впровадження у виробництво марганцевого агломерату з застосуванням концентратів ВММС шламу і виплавка марганцевих феросплавів є актуальним науково-технічним завданням.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є теоретичне обґрунтування розробки, дослідно-промислового освоєння і впровадження інноваційної технології виробництва марганцевого агломерату та марганцевих феросплавів з використанням концентрату ВММС шламу. Для вирішення поставленої мети у дисертації підлягають вирішенню взаємопов'язані задачі: виконати аналіз основних положень і закономірностей параметрів кінетики ВММС слабомагнітних руд, провести порівняльні дослідження показників питомої магнітної сприйнятливості марганцевих концентратів збагачення сирової руди і концентрату ВММСШ; виконати комплексне дослідження особливостей мінеральної мікроструктури рудних марганцевих концентратів і концентрату ВММС лежалого шламу з залученням приборної апаратури і методик сучасних фізико-хімічних досліджень металургійних сировинних матеріалів; проаналізувати вплив факторів на газодинамічні, теплотехнічні параметри агломерації концентратів, провести комп'ютерне моделювання термодинамічної рівноваги фаз багатокomпонентних шихтових матеріалів; розробити, освоїти і впровадити інноваційну технологію виробництва марганцевого агломерату АМ-2 з використанням концентрату ВММС лежалих шламів; розробити технологію виплавки марганцевих феросплавів у потужних електропечах з використанням у складі шихтових матеріалів агломерату АМ-2; провести комплексний аналіз екологічного впливу виробничої діяльності щодо

виробництва марганцевого агломерату із використанням концентрату ВММС лежалих шлаків на навколишнє середовище.

**Об'єкт дослідження:** металургійна технологія виробництва марганцевого агломерату і електрометалургійна технологія виплавки марганцевих феросплавів.

**Предмет дослідження:** аналіз фізико-хімічних, газодинамічних, теплофізичних закономірностей процесів агломерації марганцевих концентратів; комп'ютерне моделювання термодинамічної рівноваги однотипних компонентів багатокомпонентних оксидних систем при програмованому змінненню температур, формування фазових мінеральних мікроструктур марганцевого агломерату; комп'ютерне моделювання термодинамічної рівноваги оксидних компонентів шихтових матеріалів, адекватних складу виплавки феросилікомарганцю в залежності від температури; процеси дефосфорації концентратів при виплавці мало- і низькофосфористого марганцевих переробних шлаків; аналіз впливу оксидів лужних металів на властивості шлаку феросилікомарганцю і експлуатаційну стійкість вуглецевої футеровки ванни феросплавних печей.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження процесів агломерації марганцевих концентратів базуються на основних положеннях фізичної хімії і теорії металургійних процесів. Розрахунки термодинамічної рівноваги оксидних систем, адекватних агломераційним, оснований на теорії Гіббса з використанням комп'ютерних програм. Визначення хімічного, мінерального складу концентратів, агломерату, шлаку виплавки марганцевих феросплавів виконано на рентгенофлуоресцентних спектрометрах ARL 9900, ARL 9800. Масові долі елементів визначались відповідно методиці виконання вимірів РНД 35-36-2011 (ЦЗЛ АТ НЗФ). Рентгеноструктурні дослідження концентратів агломерату виконані на приборах ДРОН-2 и Ultima IV (Rigaku, Японія), термічні явища і теплові ефекти визначали на деріватографі Q-1500-Н. Визначення раціональних складів компонентів аглошихти, параметрів виробництва марганцевого агломерату виконано при дослідно-промисловому освоєнні технології виробництва марганцевого агломерату на агломашинах К 4-50 БЗАФ АТ ПГЗК і АКМ-5-105 НЗФ.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Вперше виконано комплексне рентгеноструктурне дослідження мінералогічного складу і параметрів кристалічних ґраток базових мінералів у структурі рудного концентрату 1-го сорту, концентрату ВММСШ 2-го сорту і агломерату АМ-2. На основі результатів визначення і порівняння характеристик кристалічної структури і параметрів елементарних комірок показано, що параметри елементарної комірки близькі і за час тривалого контакту влжаних шлаків з вологою не відбувається змін в структурних характеристиках мінералів, що є основою для розробки режимів магнітної сепарації та застосуванням при цьому відомостей про магнітну сприйнятливість, яку визначену для чистих мінералів.
2. Вперше на основі моделювання термодинамічної рівноваги у системі метал-шлак-газ методом мінімізації енергії Гіббса науково обґрунтовано вплив температури на процес одержання марганцевого агломерату. Для визначення температурних умов появи рідких фаз для одержання агломерату з заданими механічними властивостями при введенні до складу шихти концентратів гравітаційно-магнітного збагачення і високо інтенсивної мокрої магнітної сепарації шламу та вибору раціонального складу і їх співвідношення, застосовано метод

термодинамічного моделювання рівноваги фаз для встановлення стабільних компонентів в інтервалі температур 900-1300°C. Передбачені розрахунком мінеральні утворення виявлені методом РСМА в структурі дослідного агломерату, одержаного при варіюванні складу вихідної шихти та її компонентів з визначенням кількості концентрату ВММС шламу. Застосований метод розвиває уявлення про процеси формування раціонального складу марганцевого агломерату з використанням різних техногенних матеріалів.

3. Вперше на основі визначення розподілу оксидів лужних металів калію та натрію між продуктами плавки феросилікомарганцю показано їх переважне надходження з малофосфористим шлаком ШМП-78 та шламомарганецькокових окатишів. Це приводить до підвищення вмісту цих оксидів у пічному шлаку, створюються умови до розшарування гомогенного рідкого шлаку з утворенням двох рідин з різною щільністю. Рідина з підвищеним вмістом  $\text{Na}_2\text{O}$  є активною по відношенню до вуглецевої футерівки феросплавної печі, змінює структурні характеристики вуглецю, що приводить до руйнування футерівки.

#### **Практичне значення отриманих результатів.**

1. На підставі теоретичних і прикладних досліджень у роботі в період 2012–2017р.р. розроблена і впроваджена в умовах БЗАФ інноваційна технологія виробництва марганцевого агломерату 2-го сорту (34,5% Mn) з використанням ВММСШ відпрацьованих шламонакопичувачів («Криві Луки» і «ЧЗФ»).

2. В період 2012–2016р.р. в умовах ЦПШ БЗАФ на створеній дільниці УМС-1 по розробленій технології було перероблено 4017,2 тис. т шламу і вироблено 530,9 тис. т валового марганцевого концентрату, у тому числі класів крупності 10–1 мм 138,9 тис. т (34,9% Mn) і класу крупності 1–0 мм 391,4 тис. т (34,03% Mn). Загальна кількість виробленого концентрату 2-го сорту у 2017р. (проект) становить 500,3 тис. т, у тому числі класу крупності 10–1 мм 62,7 тис. т (34,48% Mn) і класу крупності 1–0 мм 437,0 тис. т (34,08% Mn).

3. На підставі даних розробленого проекту виконана поетапна модернізація агломашини К 4-50 і агломераційного обладнання, підвищена площа спікання агломашини від 50 до 65 м<sup>2</sup>. Впроваджена установка сухої очистки пилогазових викидів, витяжна шахта очищеного газу підвищена до 100 м, що дозволило досягти викидів пилу до нормованих показників.

4. В умовах аглоцеху АТ НЗФ освоєно виробництво агломерату на агломашині АКМ-5-105 з використанням у складі аглошихти концентрату ВММС шламу; на кінець 2017р. усього поступило на АТ НЗФ 264,4 тис. т концентрату ВММС шламу з вмістом марганцю 34,4%.

5. З використанням марганцевого агломерату АМ-2 виробництва БЗАФ на АТ ЗФЗ розроблена і впроваджена технологія виплавки феросилікомарганцю, низькофосфористого високовуглецевого феромарганцю, переробного шлаку, що забезпечило виплавку марганцевих феросплавів високої конкурентоспроможності.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Отримані у роботі конкретні рішення повністю відповідають пріоритетам Державної програми розвитку ГМК України на період до 2011р., затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України від 28.06.2004р., № 967; Державної програми з розвитку науки і техніки (згідно закону України № 2519-17 від 12.10.2010р.); Програми поліпшення екологічного стану Дніпропетровської області за рахунок зниження забруднення навколишнього середовища на 2007–2015р.р., затвердженої головою обласної ради

04.12.2007р. Робота виконувалась у відповідності тематичним планам НМетАУ щодо теоретичних і прикладних досліджень первинного вилучення металів із руд, шламів при виплавці чавуну, феросплавів, сталі, в також планами науково-дослідних робіт науково-технічної ради ОП «Укрметалургпром» на 2017р.

**Особистий внесок здобувача.** У науково-дослідних роботах, виконаних та опублікованих у співавторстві, особисто автору належать: аналіз процесів і параметрів кінетики високоінтенсивної мокрої магнітної сепарації шламу, дослідження питомої магнітної сприйнятливості марганцевих концентратів і шламу [13]; комплексне дослідження хімічного і мінерального складу марганцевих концентратів з використанням сучасної апаратури [1,7,11,23]; аналіз впливу факторів на газодинамічні і теплофізичні параметри агломерації марганцевих концентратів на модернізованій агломашині К 4-50 БЗАФ і агломашині АКМ-5-105 АТ НЗФ [15,16,19,24,26]; комп'ютерне моделювання термодинамічної рівноваги фаз в залежності від температури [12]; комплекс робіт по розробці, дослідно-промислового освоєнню і впровадженню у виробництво агломерату з використанням концентрату ВММС шламу [15,17,18,20]; комп'ютерне моделювання термодинамічної рівноваги при виплавці феросилікомарганцю з застосуванням агломерату БЗАФ, дослідження впливу оксидів лужних металів на процеси відновлення оксидів вуглецем, в'язкість шлаків [4,8,21,22,14] і стійкість вуглецевої футеровки феросплавних печей [3,25]; дослідження розподілу оксидно-лужних металів між продуктами виплавки марганцевих феросплавів і розробка технології їх виробництва [9,10]; комплексне дослідження впливу розроблених і впроваджених науково-технічних заходів, що забезпечило зменшення пилогазових викидів у навколишнє середовище до рівня нижче діючих нормативів при виробництві марганцевого агломерату, що у сукупності з покращенням техніко-економічних показників є однією із передумов сталого розвитку АТ ПЗГК [2,5,6,20].

**Апробація результатів дисертації.** Результати роботи доповідались і обговорювались на науково-технічних конференціях: Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційні технології у металургії і машинобудівництві», м. Дніпро, НМетАУ, 28–30 березня 2017р.; Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток промисловості і суспільства», м. Кривий Ріг, 24–26 травня 2017р.; Міжнародний конгрес по феросплавам INFACON XV. CapeTown, 2018р.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 26 наукових робіт, у тому числі: 4 публікації, що входять до міжнародної науково-метричної бази, 6 статей у виданнях, що входять до переліку фахових видань України, 2 наукові роботи, що опубліковані у збірниках Міжнародного наукового конгресу по феросплавам, 10 статей у періодичних виданнях України, 2 тези доповідей на науково-технічних конференціях, 2 патенти України.

**Структура та об'єм дисертації.** Дисертація складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків та списку використаних джерел (134 джерела, включаючи 26 публікацій автора за темою дисертації). Загальний об'єм роботи разом з ілюстраціями та таблицями складає 172 сторінки, у тому числі 43 рисунка, 41 таблиця, 2 додатка.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, визначено мету і завдання дослідження, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, представлені відомості про публікації та апробацію основних результатів роботи.

У першому розділі представлена характеристика Покровського родовища марганцевої руди, її запасів у надрах по видам руди: оксидної 46,1%, оксидно-карбонатної (змішаної) 7,1%, карбонатної 46,8%; аналіз особливостей геолого-мінералогічного складу рудоносного шару на 10 ділянках і відповідно їм 10 кар'єрах щодо видобутку руди; виробничі потужності збагачення сирової руди (8 кар'єрів із 10) і діючих двох шламокопичувачів «Криві Луки» і «ЧЗФ», а також середньорічні хімічні склади сирової руди, що видобувається у кар'єрах.

Проаналізовано принципова і якісно-кількісна наскрізна технологічні схеми переробки сирової марганцевої оксидної руди з використанням гравітаційного, електричного, магнітного методів збагачення. Представлено дані збагачення руди, що характеризують кожну технологічну стадію з виробництвом продуктів збагачення. Вихід концентрату 1/1Б сорту становить 14,91%, II сорту 24,0%, ВМСШ діючої технології (12,61% Mn) 1,45%. У 2015р. (одному із найбільш стабільної роботи комбінату) поступило оксидної руди на збагачення 2476,3 тис. т проти 3542,5 тис. т у 2010р., менше на 30,1%. Вихід концентратів у зазначені роки зменшено з 38,3% до 34%, тобто на 12,54%. Відповідно до прогнозів виробництво сталі в світі у 2020р. зросте до 1850 млн. т, а у 2030р. – до 2290 млн. т, що буде супроводжуватися збільшенням виплавки усіх феросплавів (65,2 млн. т у 2013р.), де доля марганцевих феросплавів складає приблизно 37%.

У другому розділі розглянуто інформаційний ресурс даних щодо фізичних явищ і закономірностей процесів кінетики ВММС шламу збагачення сирової марганцевої руди відпрацьованих шламокопичувачів АТ ПГЗК та проаналізована класифікація марганцевих рудних мінералів (ілістої тріади-піролюзиту, псиломелану, манганіту), гідрооксидних та карбонатних (манганокальциту) щодо величини питомої магнітної сприйнятливості; приведено характеристики сил, які появляються у силовому полі магнітного сепаратора, і методи визначення закономірності розділення мінералів, складання рівняння магнітної сепарації слабомагнітної мінеральної сировини.

Проаналізовано підходи до рішення складної науково-технологічної задачі ВММС слабомагнітної руди, що базуються на аналітичних закономірностях, які описуються за допомогою системи диференційних рівнянь кінетики ВММС слабомагнітних руд різної магнітної сприйнятливості (ПМС), магнітної проникнутості. Представлено результати експериментального дослідження питомої магнітної сприйнятливості рудних марганцевих концентратів і концентрату ВММС шламу відпрацьованого шламокопичувача (табл. 1).

Аналіз приведених даних показує, що питома магнітна сприйнятливість рудних концентратів і концентрату ВММС шламу мають близькі значення величин, карбонатний концентрат характеризується ПМС на 50% більше, а ПМС марганцевого агломерату АМ-2 у 2,15 рази більше у порівнянні з ПМС оксидних концентратів за діючими технологіями збагачення руди і ВММС шламу.

Таблиця 1 – Хімічний склад марганцевих концентратів і марганцевого агломерату АМ-2 виробництва БЗАФ

Умовний номер зразка	Характеристика зразків	Вміст							
		Mn	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	ППП	$\chi \cdot 10^{-6}$ , м <sup>3</sup> /кг
1	1-й сорт ЧЗФ	45,3	13,1	2,2	2,0	3,1	0,23	12,2	0,360
2	2-й сорт ЧЗФ	35,7	21,1	2,4	2,4	6,4	0,18	11,5	0,362
3	2-й сорт БЗАФ*	38,0	15,4	4,7	2,2	2,85	0,21	16,2	0,393
4	2-й сорт БЗАФ**	37,4	24,5	2,2	1,9	2,55	0,128	10,6	0,360
5	Карбон. конц-т	29,2	9,5	12,2	2,1	2,25	0,28	30,0	0,540
6	Агломерат АМ-2	41,6	23,12	5,7	3,0	4,35	0,22	-	1,137

\* фракція 10 – 1 мм і \*\* фракція 1 – 0 мм.

У третьому розділі представлені результати комплексних досліджень мікроструктури марганцевих концентратів з залученням сучасної апаратури і методів експериментальних досліджень: рентгеноструктурний, РСМА, інфрачервона спектроскопія і деріватографія. Рентгеновське дослідження проведено в монохроматичному  $\text{CuK}\alpha$ - випромінюванні на дифрактометрі Ultima (Rigaku, Японія). Для визначення кількісного фазового складу та періодів ґраток фаз обробку даних експериментів здійснювали з використанням програм для повного профільного аналізу спектрів «Powder Cell 2.4» (табл. 2).

Таблиця 2 – Кількісний фазовий склад та періоди ґраток марганцевого концентрату 2-го сорту ВММС шламу

Мінерали	Періоди ґраток, нм		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
$\alpha$ -вернадит $\text{MnO}_2(\text{H}_2\text{O})$	0,98718	-	0,28505
$\text{MnO}_2$ т-піролюзит	0,44122	-	0,28674
$\text{SiO}_2$ , $\alpha$ -кварц	0,49130	-	0,54040
$\text{Mn}_6\text{O}_{12}(\text{H}_2\text{O})$ , $\beta$ -тодорокит	0,98514	0,28347	0,94890
$(\text{Ca}, \text{Mn})\text{CO}_3$	0,49819	-	1,70460

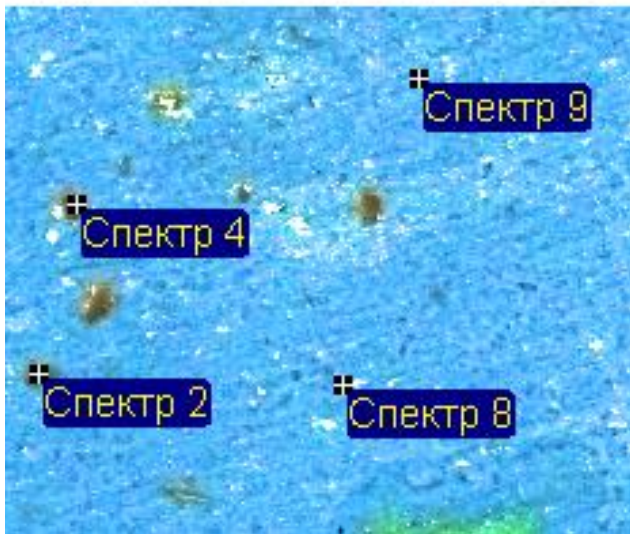


Рис. 1. Рентгеноспектральний мікроаналіз ділянок шліфа марганцевого агломерату 2 сорту УМС+1, отриманих у режимі кольорового зображення із позначенням точок зондування електронним променем (спектри 2, 4, 8 і 9)

Дослідження хімічного складу рудних марганцевих мінералів і пустої породи проводили методом РСМА на електронному мікроскопі «SUPRA» при прискорюючій напрузі 20 кВ. Концентрат ВММС шламу мав наступний хімічний склад (% по масі): 37,4 Mn, 24,5 SiO<sub>2</sub>, 2,20 CaO, 1,4 MgO, 1,9 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1,7 Fe, 0,18 P, 10,6 в.п. Мікроструктура шліфа і розташування спектрів мікрозондування приведено на рис. 1, а хімічний склад мінеральних фаз у табл. 3.



Мінеральна тонкодисперсна фаза з синьовато-зеленуватим відтінком розташована по всьому полю шліфа. За вмістом марганцю 58,96% (спектр 8) і 59,70% (спектр 9) мінеральну фазу ідентифікували як модифікація піролюзиту  $\beta$ - $MnO_2$  (хімічний склад діоксиду  $MnO_2$  63,2 % Mn і 36,8 % O).

Таблиця 3 – Хімічний склад сумарного поля шліфа 400x300 мкм і мінеральних фаз зондування електронним променем концентрату ВММС шламу

№ спектру	Вміст елемента, % по масі													
	O	F	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe
сумарний спектр	31,10	-	0,69	1,23	0,68	3,67	0,68	0,21	1,65	2,49	-	0,20	55,64	-
2	41,29	-	-	1,04	13,29	21,01	-	-	6,07	0,29	-	-	13,99	3,03
4	56,13	-	-	-	0,07	40,60	-	-	0,16	-	-	-	3,04	-
8	29,80	3,22	0,66	1,50	0,34	6,85	1,658	0,27	1,42	1,45	0,30	-	58,96	1,22
9	30,18	1,47	0,69	1,44	0,55	1,12	0,65	0,23	1,63	1,37	0,23	-	59,70	1,50

**Четвертий розділ** присвячено розробці інноваційної наскрізної технологічної схеми і процесів виробництва марганцевого агломерату з використанням у складі аглошихти концентрату ВММС шламу шламонакопичувачів на основі аналізу інформаційного ресурсу даних і результатів досліджень, які узагальнені у попередніх розділах.

Розглянуто математичні моделі газодинамічної роботи агломераційної машини і розрахунок продуктивності агломашини в залежності від ряду факторів, що описуються рівнянням

$$G_{AM} = 6 \cdot 10^{-2} F_{AM} \cdot U_{вер} \cdot \rho \cdot K_{ш}^{год}, \quad (1)$$

де  $F_{AM}$  – площа спікання,  $m^2$ ;  $U_{вер}$  – вертикальна швидкість спікання аглошихти, мм/хв.;  $\rho$  – насипна щільність шихти,  $kg/m^3$ ;  $K_{ш}^{год}$  – вихід придатного агломерату,  $kg/kg$  шихти. Проаналізовано ряд факторів, що впливають на газодинамічну роботу агломашини. Увагу приділено також аналізу впливу теплотехнічних факторів на процеси виробництва агломерату; роботи по впливу фронту горіння палива на продуктивність агломашини, якість і мікроструктуру агломерату. З метою розробки науково-обґрунтованого вибору якісного і кількісного складу шихти для виробництва марганцевого агломерату з використанням концентрату ВММСШ виконано комп'ютерне моделювання термодинамічної рівноваги фаз складних оксидно-силікатних систем в інтервалі температур 900–1300°C. У складі аглошихти і промислового агломерату АМ-2 виробництва БЗАФ враховували хімічний склад марганцевих концентратів (табл. 1). Співвідношення концентратів у складі суміші було таким: 1-й сорт ЧЗФ 11,45%; 2-й сорт ЧЗФ 49,10%; 2-й сорт БЗАФ фракції 10–1 мм 6,32%, фракції 1 0 мм 7,13%; карбонатний концентрат 26%.

На першій стадії дослідження термодинамічної рівноваги систем проводили методом розрахунку для однотипних фаз, за які вибрали наступні: «рідка» фаза (умовно назва у роботі «шлак»), монооксидна (кристалічна структура галіта), олівінова (тверді розчини силікатів), тетраедрична шпінель (мінералогічно адекватна гаусманіту  $Mn_3O_4$ ). Динаміка зміни кількості однотипних фаз шихти при нагріві до 1300°C представлена на рис. 2, а компонентного складу рідкої фази (шлаку) на рис. 3. За аналогічною методикою наведено результати моделювання термодинамічної рівноваги зміни хімічного складу компонентів рідкої фази (шлаку) при нагріві до 1300°C (рис. 4).

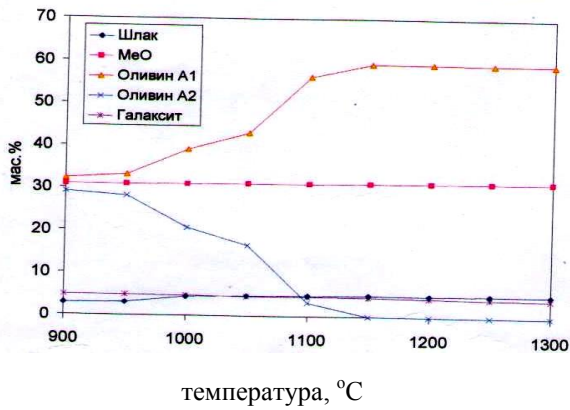


Рис. 2. Залежність кількісного складу однотипних фаз шихти від температури в інтервалі 900–1300°C

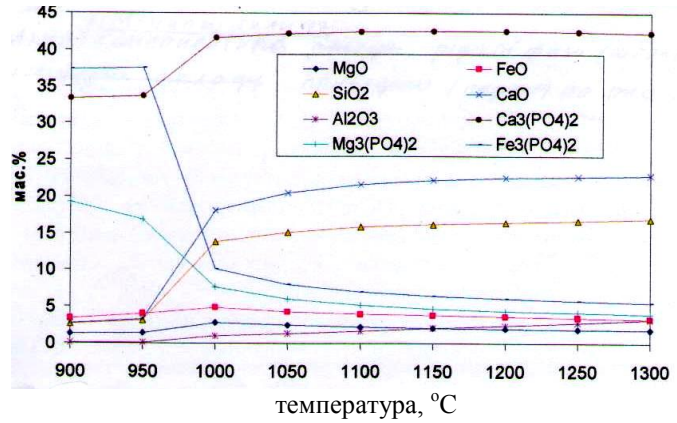


Рис. 3. Залежність зміни компонентного складу однотипної рідкої фази (шлак) від температури в інтервалі 900–1300°C

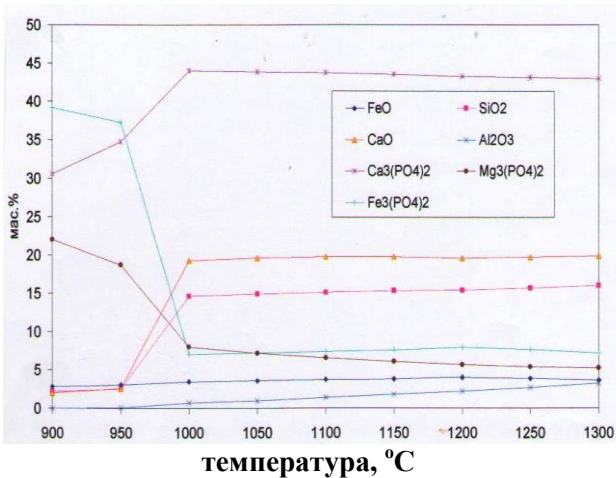


Рис. 4. Залежність зміни кількісного складу компонентного складу рідкої фази (агломерат АМ-2) від температури в інтервалі 900–1300°C

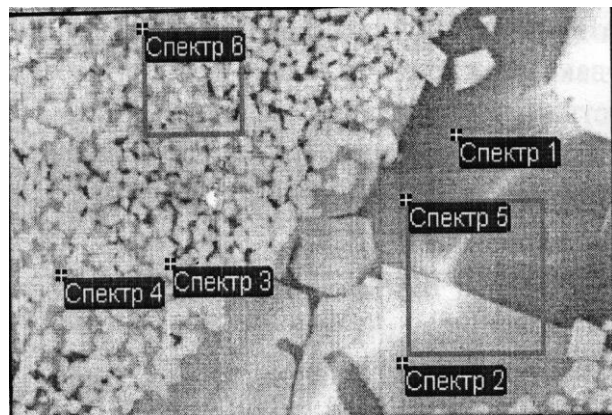


Рис. 5. РСМА мікроструктури ділянки (поля) шліфа марганцевого агломерату АМ-2, отриманої у режимі кольорового зображення з позначенням точок (спектрів) мікрозондування фаз

Приведено і проаналізовано результати моделювання термодинамічної рівноваги зміни хімічного складу других фаз (монооксидної, олівінової, тетраедричної шпінелі) для систем «шихта» і «агломерат АМ-2». Виконано порівняльний аналіз результатів моделювання термодинамічної рівноваги фаз при підвищенні температури рідкої фази (агломерату АМ-2) в інтервалі 900–1300°C із даними РСМА фазо-мінеральних утворень, схожих компонентних складах концентратів шихти і їх співвідношень. Об'єктом РСМА був агломерат АМ-2 виробництва БЗАФ (табл. 1). Зондовані електронним променем фази відзначені номерами спектрів (рис. 5), а хімічний склад фаз представлено у табл. 4.

Виявлені фази у мікроструктурі агломерату не можуть у повній мірі характеризуватись як термодинамічно рівноважні. Між тим, виявлено взаємозв'язок фаз у агломераті згідно даних РСМА і передбачених комп'ютерним моделюванням. Зокрема фази (номера 1 і 5) з вмістом фосфору, Ca і Si і обмеженим вмістом Mn можна віднести до однотипної «рідкої» фази (шлак). Спектри 3, 4 і 6 слід характеризувати як приналежні до однотипної монооксидної фази.

Таблиця 4 – Хімічний склад мінеральних фаз марганцевого агломерату АМ-2 (РСМА)

Порядковий номер спектра	Кількісний склад елементів, % мас.													
	O	F	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Σ
1	43,28	-	1,52	0,40	2,21	21,41	0,46	0,19	2,0	7,96	0,33	18,94	0,68	100,0
2	36,24	4,59	-	2,63	14,68	-	-	-	2,06	-	39,80	-	-	100,0
3	28,47	2,12	-	0,38	0,64	0,90	-	-	-	0,35	-	64,47	2,17	100,0
4	30,08	3,22	-	1,93	-	11,70	-	-	-	2,01	-	51,06	-	100,0
5	41,06	2,05	1,15	1,02	1,55	18,57	0,39	-	1,79	5,57	0,24	26,08	0,53	100,0
6	27,83	3,85	-	0,93	0,72	5,89	-	-	-	1,20	-	57,87	1,71	100,0

Узагальнені і проаналізовані у попередніх розділах результати теоретичних і експериментальних досліджень явились передумовою до розробки, дослідно-промислового освоєння і впровадження в умовах БЗАФ технології виробництва марганцевого агломерату марки АМ-2 з використанням у складі аглошихти різної долі тонкозернистого концентрату ВММС шламу відпрацьованих шламокопичувачів. Концентрат ВММС шламу характеризується двома класами крупності 10–1 мм і 1–0 мм. Концентрат крупності 10–1 мм є для БЗАФ товарною сертифікованою металургійною продукцією. Концентрат 1–0 мм, умовно позначений як «–1», підлягає агломерації, оскільки має тонко фракційну структуру (табл. 5). Проведено дослідно-промислове виробництво агломерату АМ-2 з залученням 15, 20 і 25% концентрату УМС «–1 мм» при спіканні агломерату на агломашині К 4-50 (до її модернізації). Результати дослідно-промислових експериментів приведено у табл. 6.

Таблиця 5 – Фракційний склад, вихід фракції і вміст марганцю у концентраті крупністю 1 – 0 мм

Клас крупності, мм	+ 1	–1 + 0,5	–0,5 + 0,16	–0,16 + 0,071	–0,071	Σ
Вихід фракції, %	1,56	11,38	52,35	33,01	1,7	100
Вміст марганцю, %	40,18	35,12	34,13	30,62	36,89	33,75

Таблиця 6 – Технічні показники виробництва агломерату сорту АМ-2 з залученням до складу аглошихти 15, 20 і 25% концентрату 2-го сорту УМС «–1 мм»

Показники	Одиниця вимірювання	АМ-2, типова аглошихта	АМ-2, 15% концентрат у УМС «–1 мм»	АМ-2, 20% концентрату УМС «–1 мм»	АМ-2, 25% концентрат у УМС «–1 мм»
Вміст Mn у агломераті	5	40,74	39,85	40,06	39,71
Міцність агломерату	%	76,80	75,85	77,0	75,50
Величина в.п.п.	%	1,70	2,55	2,0	2,40
Кількість дріб'язку – 5 мм	%	8,0	8,55	8,3	8,9
Сумарна питома витрата концентратів	т/т агл.	1,436	1,487	1,365	1,458
Питома витрата природного газу	м <sup>3</sup> /год	5,22	5,3	5,06	6,82
Питома витрата кокосового дріб'язку	т/т агл.	0,096	0,099	0,095	0,099
Годинна продуктивність агломашини	т/год	53,01	54,46	55,91/53,84	51,95
Питома продуктивність агломашини	т/(м <sup>2</sup> ·год)	0,815	0,8378	0,860	0,799
Зворот агломерату	%	-	30,26	30,11	31,91

У наступні періоди після проведеного дослідно-промислового експерименту була закінчена модернізація агломашини і агломераційного обладнання, що супроводжувалося підвищенням продуктивності агломашини до 62,02 т/год (питома

продуктивність 0,954 т/(м<sup>2</sup>·год), що у порівнянні з 2013р. (53,01 т/год) була на 14,8% вища. Одним із факторів, що зменшував продуктивність агломашини при 25% частці у складі аглошихти концентрату УМС «-1 мм», була низька комкуємість дослідної суміші концентратів після обробки її дозованою кількістю води. Концентрат УМС «-1 мм» також негативно впливав на роботу технологічного агломераційного обладнання. Проведено дослідно-промислові експерименти та освоєна технологія виробництва марганцевого агломерату АМ-2 з використанням у складі аглошихти концентрату ВММСШ і реагенту (РТГ).

Спінання агломерату АМ-2 дослідних партій проводили на агломашині К 4-50 БЗАФ з корисною площею 65 м<sup>2</sup> (після корінної модернізації). В початковий дослідний період до складу аглошихти вводили суміш концентратів 1-го сорту ЧЗФ і карбонатний концентрат АЗФ; 2-го сорту концентрату ВММС шламу (за попереднім називанням УМС «-1 мм»), суміш концентрату 2-го сорту УМС «-1 мм» плюс РТГ у відношенні 3:1. Програмами дослідного виробництва агломерату задавалась послідовність подачі компонентів аглошихти на стрічку конвеєру. Навантаження шихти на стрічку агломашини складало 21,5 кг на погонний метр аглострічки, висота шару аглошихти на аглострічці 550 см, швидкість 1,27 м/с, а виробнича продуктивність повинна була становити, як і при агломерації типової аглошихти (без концентрату ВММСШ і РТГ), 62 т/год.

У роботі також розглянуті характеристики термічних перетворень оксидних і гідроксидних мінералів марганцевих концентратів і проаналізована термодинаміка термічної дисоціації та відновлення марганцевих мінералів в процесі спікання аглошихти. По ходу проведення дослідних режимів спікання агломерату, з урахуванням виявлених негативних факторів, були проведені кілька коректировок складу аглошихти, газодинамічних і теплофізичних факторів. Найбільш масштабні дослідно-промислові експерименти по спіканню агломерату за масштабами було проведено у серпні 2015 року за розробленими режимами, результати яких узагальнені у табл. 7 і 8.

Таблиця 7 – Зведені дані дослідно-промислового освоєння виробництва марганцевого агломерату АМ-2 з використанням у складі аглошихти 50% концентрату ВММС шламу (УМС «-1 мм») і реагенту РТГ

Концентрат	Вміст Мп, %		Частка залучен. в шихту, %		Витрата на 1 тону агломерату, т/т	
	План.	Факт.	План.	Факт.	План.	Факт.
Суміш: 1-й сорт ЧЗФ + карбонат АЗФ	35,98	36,07	46,54	46,91	0,700	0,695
- у т.ч. 1-й сорт ЧЗФ	43,45	43,91	23,27	23,41	0,350	0,347
- у т.ч. карбонат АЗФ	28,5	28,78	23,27	23,50	0,350	0,348
2-й сорт УМС «-1 мм»	34,00	33,79	40,09	40,20	0,603	0,595
Суміш: 2-й сорт УМС «-1 мм» + реагент РТГ (відношення 3:1)	29,37	33,21	13,36	12,89	0,201	0,191
- у т.ч. 2-й сорт УМС «-1 мм»	34,00	34,69	9,97	9,62	0,150	0,142
- у т.ч. реагент РТГ	-	-	3,39	3,27	0,051	0,048
Разом шихта	34,49	34,86	100,0	100,00	1,504	1,480

Дослідно-промислове освоєння процесу агломерації з використанням розробленого складу аглошихти дозволило отримати також достовірні дані щодо підвищення показника міцності агломерату (для дослідного агломерату 77,4% проти 74,0% для типового агломерату). В умовах аглоцеху ПАТ НЗФ освоєна технологія

виробництва агломерату марки АМНВ-2 на агломашині АКМ-5-105 з використанням концентрату ВММС шламу поставки АТ ПГЗК (БЗАФ). По розроблених режимах спікання агломерату нормовані показники міцності і продуктивності агломашини були досягнуті при залученні концентрату ВММСШ до 15%. При долі концентрату ВММС шламу (за участю реагенту РТГ) в кількості 50–60% продуктивність агломашини становила 66 т/год, а міцність агломерату 76,0–76,5%, яка відповідає діючій технології виробництва агломерату на НЗФ без використання марганцевого концентрату ВММС шламу класу крупності 1–0 мм.

Таблиця 8 – Порівняльні і фактичні показники виробництва марганцевого агломерату АМ-2 з використанням у складі аглошихти концентрату ВММС шламу і реагенту РТГ

Показники	План	Факт.
Витрати природного газу, м <sup>3</sup>	29100,00	28967,00
Питомі витрати природного газу, м <sup>3</sup>	4,85	4,58
Міцність агломерату, %	74,00	77,04
В.п.п. агломерату, %	0,70	1,94
Фактичний час роботи, годин	96,90	104,42
Продуктивність агломашини, т/годину	61,92	60,55
Питома продуктивність агломашини, т/(м <sup>2</sup> ·годину)	0,952	0,93

Агломерат АМНВ-2, який отримано на АТ НЗФ, відповідає нормам ТУ 13.2-00190928-03:2010 і використовується для виплавки малофосфористого марганцевого переробного шлаку (МФШ). Використання МФШ у складі шихти виплавки марганцевих феросплавів на АТ НЗФ дозволило суттєво зменшити поставки імпоротної високоякісної марганцевої руди з низьким вмістом фосфору і таким чином підвищувати високу конкурентоспроможність українських феросплавів на міжнародних ринках феросплавної продукції.

У п'ятому розділі узагальнено і проаналізовано матеріали теоретичного і експериментального дослідження технологій виплавки феросилікомарганцю з використанням у складі шихти агломерату АМ-2, визначення закономірностей в'язкості шлаків на основі даних математичного моделювання залежності в'язкості шлакових розплавів від хімічного складу і температури, розробки технології виробництва пилококсових обкотишів і їх використання у складі шихти при виплавці марганцевих феросплавів.

Приведено дослідження термодинамічної рівноваги фаз у 10-ти компонентній системі, що відповідає в цілому складу шихти для виплавки феросилікомарганцю (Mn–Fe–Si–Ca–Mg–Al–O–P–S–C) методом мінімізації енергії Гіббса. Моделювання термодинамічної рівноваги фаз виконано у інтервалі температур 1550–1800°C і тиском 103,1 кПа. Склад колоші шихти вибраний для умов виплавки феросилікомарганцю MnC17 (0,4% P). На першій стадії моделювання визначено зміну маси металу, шлаку і газової фази при збільшенні температури від 1550°C до 1800°C, а на другій – залежність компонентного складу кожної фази від температури. Досліджено вплив температури на активність елементів у металічній і шлаковій 10-ти компонентній системі.

Розроблено можливі технологічні режими програмованого управління в'язкістю шлаків виплавки феросилікомарганцю на основі результатів комп'ютерного моделювання залежності енергії активації в'язкості пічного і модельних шлаків від лужно-глиноземного модуля

$$E_{\eta}(\text{кДж/моль}) = 165,8 \cdot \left( \frac{\% \text{Na}_2\text{O} + \% \text{K}_2\text{O}}{\% \text{Al}_2\text{O}_3} \right)^{-0,199} \quad (2)$$

Для дослідних шлакових систем виплавки феросилікомарганцю у роботі отримано аналітичне рівняння, яке дозволяє розраховувати в'язкість шлакових розплавів

$$\eta(T) = 0,1617 \cdot \exp \left( \frac{E_{\eta}}{R} \cdot \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{1950} \right) \right), \quad (3)$$

де 0,1612 – дійсна константа в'язкості шлаків, хімічний склад яких моделювався; 1950 – ізокінетична температура для в'язкості шлаків; при цій температурі, як відзначалось вище, в'язкість усіх шлаків, які досліджувались, повинна бути близька до одного значення дійсної константи в'язкості 0,16–0,17 Па·с.

В теоретичному і практичному відношеннях для технології марганцевих феросплавів важливе значення мають вперше встановлені результати промислових досліджень щодо створення інноваційної технології виробництва пиломарганецькокових окатишів на основі аспіраційного пилу установок сухих газоочисток і некондиційних фракцій коксикю. Особливістю хімічного складу аспіраційного пилу сухих газоочисток АТ ЗФЗ є високий вміст оксидів лужних металів  $\text{K}_2\text{O}$  (11,0–14,4%) і  $\text{Na}_2\text{O}$  (5,1–7,7%). У роботі виконано комплекс експериментальних досліджень щодо хімічного і мінералогічного складу пилу від печей, що виплавляють різновиди марганцевих феросплавів, технологія і обладнання для виготовлення пилоккових окатишів без використання яких-небудь в'язучих домішок, а також два виду обкотишів – пилоккові (ОПК) і коксопилові (ОКП) в залежності від співвідношення кількості марганецьвмісного пилу і коксового дріб'язку. Розробка і впровадження технології виробництва окатишів ОПК і ОКП вирішило актуальні задачі уловлення і очистки аспіраційних пилогазових викидів, зменшило витрати марганцю завдяки використанню окатишів при виплавці марганцевих феросплавів.

В процесі виплавки феросилікомарганцю з використанням у складі шихти окатишів ОПК або ОКП встановлено суттєве підвищення концентрацій оксидів  $\text{K}_2\text{O}$  і  $\text{Na}_2\text{O}$  у пічному шлаку, що призводило до негативного впливу оксидів лужних металів на експлуатаційну стійкість бокової вуглецевографітової футеровки ванни феросплавної печі. З цього приводу у розділі приведені матеріальні баланси і отримані фактичні дані щодо впливу різних факторів на розподіл оксидів  $\text{K}_2\text{O}$  і  $\text{Na}_2\text{O}$ , які поступають у складі компонентів шихти з пічним шлаком, газовою фазою (колошниковим газом), і їх концентрацій у аспіраційних пилогазових викидах. Частка оксидів  $\text{K}_2\text{O}$  і  $\text{Na}_2\text{O}$ , що виводяться із печі з відвальним шлаком, залежить від частки переробного шлаку ШМ78 у шихті. Так, при виплавці феросилікомарганцю марки МнС17Р50 (0,5% Р) доля оксидів лужних металів, які виводяться із ванни печі зі шлаком, становить 72%, а при виплавці МнС17Р40 (0,4% Р), при більшій витраті переробного шлаку, тільки 35,2%.

Вперше виявлена і обґрунтована можливість існування двох шлакових розплавів різних хімічних складів, які не змішуються у пічному шлаку феросилікомарганцю, в залежності від вмісту оксидів  $\text{K}_2\text{O}$  і  $\text{Na}_2\text{O}$ . Невідома раніше в

теорії і технології виплавки феросилікомарганцю явище розшаровування шлаку на 2 шлакових розплавів різного хімічного складу знайшло назву як закономірне явище «незмішуваності» в силікатних системах.

У 2016р. (4 квартал) після запуску у виробництво БЗАФ в дослідний період було виготовлено 51,4 тис. т агломерату марки АМ-2 (39,9% Mn). У складі аглошихти для спікання агломерату використано концентрат 1-го і 2-го сорту ЧЗФ при дольовій кількості у 39,1 %, карбонатний концентрат Александріївської ЗФ – 30,4%, концентрат цеху переробки шламу (ЦПШ) – 30,5%. У якості активатора процесу окомкування концентрату ЦПШ використовувався реагент (РТГ) в кількості 7 кг сухої маси на тону концентратів у складі аглошихти (табл. 9).

Таблиця 9 – Зведені дані щодо фактичної витрати марганцевих концентратів, коксового дріб'язку, вугілля АШ і РТГ в 4-му кварталі 2016 р. після запуску БЗАФ

Компоненти шихти	Витрати по вологій масі, т	Дольова участь у шихті, %	Волога, %	Суха маса, т	Mn, %	Метал. (марганець), т
2 сорт УМС1 10–1 мм	6345,45	8,50	17,32	5246,17	33,96	1781,36
2 сорт УМС1 1–0 мм	5517,90	7,39	23,14	4241,326	34,33	1456,03
2 сорт УМС2 10–1 мм	5742,06	7,69	19,98	4594,599	27,34	1256,24
2 сорт УМС2 1–0 мм	5205,14	6,97	24,17	3946,823	29,19	1152,14
1 сорт ЧЗФ	12681,88	16,98	16,39	10603,441	43,07	4566,46
2 сорт ЧЗФ	16475,60	22,06	22,34	12795,376	38,13	4879,17
1 карбонат АЗФ	22712,70	30,41	10,45	20338,625	28,70	5837,55
<b>Всього к-т</b>	<b>74680,73</b>	<b>100,00</b>	<b>17,29</b>	<b>61766,406</b>	<b>33,88</b>	<b>20928,95</b>
Дріб'язок коксовий				5090,454		
Вугіль АШ	402,90		10,00	362,610		
Реагент РТГ	1225,80		64,80	431,482		
<b>Агломерат</b>				<b>51403,35</b>	<b>39,91</b>	<b>20514,75</b>

Втрати виробничої продуктивності агломашини пов'язані з наступними факторами: підвищення кількості мілкої фракції (пилу із системи ПГОУ) у складі аглошихти призводить до зменшення газопроникності шихти на стрічці агломашини; зменшення висоти шару аглошихти, що спікається, до 500–550 мм. При цьому підвищується показник міцності виготовленого агломерату: типове 77%, фактичне 78,4%, що призводить до зменшення на 1,4% кількості дріб'язку –5 мм: типове 17%, фактичне 15,6% (табл. 10).

Дані табл. 10 свідчать, що продуктивність агломашини при виробництві агломерату АМ-2 представленаю технологією на 6,85% менше проти типової технології. Дослідно-промислове виробництво агломерату у 2017р. поряд з плановим випуском товарного агломерату дозволило визначити параметри агломерації з використанням концентрату ВММС шламу з забезпеченням показників типової технології і дослідної аглошихти.

У роботі виконано комплексний аналіз екологічного впливу виробництва марганцевого агломерату БЗАФ на навколишнє середовище, розроблено і впроваджено заходи, які забезпечують подальший сталий розвиток АТ ПГЗК. Узагальнені результати дослідження пилогазових викидів, що утворюються при агломерації марганцевих концентратів на стадіях спікання агломерату і його охолодження; приведені екологічні характеристики пилогазових викидів. На основі досліджень складу пилогазових викидів з'ясовано, що основними компонентами є

оксидні сполуки марганцю,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  та тверді частинки походження подрібнювання агломерату, твердого палива та інші.

Таблиця 10 – Порівняні результати виробництва агломерату АМ-2 за дослідно-промисловою технологією з використанням концентрату ВММС шламу з даними відповідних показників типової аглошихти і технології в умовах БЗАФ у 2016р. (IV квартал)

Показники	Одиниця вимірювання	Технології	
		типова, 2015р.	дослідна, IV кв. 2016р.
Виробництво агломерату АМ-2	т	273900	51403
Вміст марганцю	%	40,7	39,9
Вміст фосфору	%	0,257	0,243
Міцність агломерату	%	77,1	78,4
Кількість дріб'язку «– 5 мм»	%	17,1	15,6
Втрата маси при прокалюванні агломерату	%	1,4	1,9
Питомі витрати концентратів	т/т	1,452	1,453
Дольова участь концентрату 1-го сорту ЧЗФ	%		16,98
Дольова участь концентрату 2-го сорту ЧЗФ	%	61,07	22,06
Дольова участь карбонатного концентрату	%	25,09	30,41
Дольова участь концентрату 2-го сорту ЦПШ	%	8,2	30,54
Питома витрата реагенту РТГ	т/т агл.		0,024
Питома витрата коксового дріб'язку	т/т агл.	0,092	0,099
Питома витрата вугілля АШ	т/т агл.		0,008
Висота спікаемого шару аглошихти	мм	550 – 600	500 – 550
Виробнича потужність агломашини	т агл./год	65	60,55

Впродовж 2013–2015р.р. у роботі виконано комплекс розрахункових, проектних досліджень щодо удосконалення на БЗАФ системи очистки пилогазових викидів агломераційного виробництва. Виконано оснащення фільтрів ФРИР-7700 конструкції ТОВ НВП «Дніпроенергосталь» більш потужними нагнітачами DHRV-35-1400K німецької фірми Venti Oelde і застосування іскрогасника ЦГ-450, що дозволило суттєво підвищити ефективність системи пилогазоочистки у зоні спікання агломерату. На стадії охолодження агломерату у якості пилогазового обладнання споруджено фільтр ФРИР-5000 конструкції ТОВ НВП «Дніпроенергосталь» з нагнітачем ДН-26х2Ф продуктивністю 380 тис.  $\text{м}^3/\text{год}$ . Виконано порівняння екологічних вимог щодо приземних гранично допустимих концентрацій (ПДК) шкідливих речовин у населених пунктах України і країн ЄС. Обґрунтовано, що українські норми допустимого вмісту  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$  і  $\text{NO}_x$  у викидах більш суворі, ніж у європейських країнах.

Вперше виконано математичне моделювання процесу розповсюдження пилогазових викидів при виробництві марганцевого агломерату з використанням у складі аглошихти концентрату ВММС шламу. Математичне моделювання виконано з застосуванням моделі Гаусса розсіювання пилогазових викидів, відповідно до якої концентрація шкідливих речовин у зоні впливу БЗАФ описується приведеним у роботі математичним рівнянням. Розраховані по моделі зміни приземної концентрації  $\text{MnO}_2$  при викидах пилогазових речовин із витяжної реконструйованої башні висотою 100 м (діаметр 4,2 м) приведені на рис. 6.



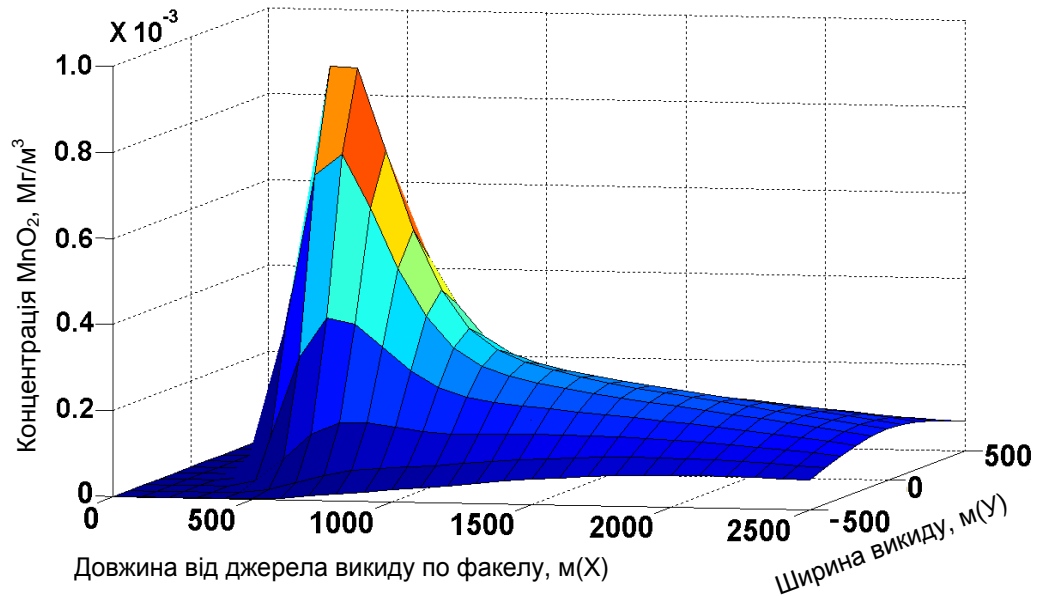


Рис. 6. Динаміка зміни концентрації сполук марганцю після впровадження фільтрів ФРИР-7700 і ФРИР-5000 (в перерахунку на MnO<sub>2</sub>) при викидах із витяжної башні при наступних початкових умовах: ( $Q$  0,29 г/с,  $\omega_0$  13,35 м/с,  $u$  (приземна швидкість вітру) = 2 м/с,  $T_s$  (температура газів, які викидаються у атмосферу) 80°C;  $T_a$  (температура навколишнього середовища) 20°C, день, ясна погода)

Результати розрахунків, узагальнених у роботі, добре узгоджуються з даними постів спостереження, які розташовані на відстані 500–3000 м від джерела викидів. Так, наприклад, максимальна приземна концентрація оксиду марганцю на відстані 500 м від джерела пилогазових викидів складає 0,0085 мг/м<sup>3</sup> (згідно ПДК допускається 0,85 мг/м<sup>3</sup>), а на відстані 2,5 км концентрація сполук марганцю зменшується до 0,0001 мг/м<sup>3</sup> (0,1 ПДК).

Таким чином, розроблені і впроваджені у виробництво екологічні заходи при модернізації пилогазоочистного обладнання природоохоронного призначення забезпечують виробництво марганцевого агломерату відповідно до діючих норм гранично допустимих концентрацій і подальший стабільний розвиток БЗАФ.

## ВИСНОВКИ

Головний загальний висновок по роботі в цілому полягає у тому, що в результаті спланованих і виконаних у період 2013–2017р.р. теоретичних і експериментальних лабораторних і дослідно-промислових робіт, вирішена одна із актуальних задач гірничо-металургійного комплексу (ГМК) України в галузі ефективного використання металургійної сировини при виробництві марганцевого агломерату і виплавки марганцевих феросплавів з використанням марганцевого концентрату високоінтенсивної мокрої магнітної сепарації (ВММС) шламу відпрацьованих шламонакопичувачів в умовах АТ ПГЗК і феросплавних заводів АТ НЗФ и АТ ЗФЗ. Підсумкові результати наведені нижче у послідовності і відповідності до змісту дисертаційної роботи.

1. Проаналізована характеристика Покровського родовища марганцевої руди, її запасів у надрах, виробничі потужності видобутку руди у семи кар'єрах і виробництва марганцевого агломерату на БЗАФ; розглянуті наскрізні принципова і якісно-кількісна технологічні схеми збагачення сирової оксидної марганцевої руди за діючими технологіями формування шламонакопичувачів «Криві Луки»,

«Чкаловська збагачувальна фабрика» (загальний вміст шламу 129,1 млн. т) і оцінки стану виробництва марганцевих концентратів за розробленою технологією методом ВММС шламу.

2. Виконано науково-технічний аналіз інформаційного ресурсу даних щодо фізичних явищ і закономірностей кінетики процесу ВММС лежалих слабомагнітних шламів шламонакопичувачів АТ ПГЗК.

3. Вперше експериментально досліджено мінеральний склад і періоди кристалічних ґраток рудних мінералів марганцю ( $\alpha$ -вернадіт,  $\beta$ -тодорокіт та інш.) рентгеноструктурним методом у монохроматичному  $\text{CuK}_\alpha$ -випромінюванні на дифрактометрі Ultima (Rigaku, Японія); визначено хімічний склад рудних марганцевих мінеральних асоціацій і пустої породи методом РСМА у кольоровому режимі (електронний мікроскоп «SUPRA»); виконані ІЧ-спектроскопічні дослідження мінеральних фракцій марганцевих мінералів і термічні ефекти при нагріванні марганцевих концентратів методом дериватографії.

4. Вперше виконано комп'ютерне математичне моделювання термодинамічної рівноваги мінеральних фаз у складі оксидно-силікатної системи, за хімічним складом адекватної хімічним складам аглошихт виробництва марганцевого агломерату. Розраховані динаміка складу систем «шихта» і «агломерат», а також зміни компонентного складу фаз систем «шихта» і «агломерат» при програмованому нагріванні від 900 до 1300°C.

5. Вперше виконано рентгеноспектральний мікроаналіз (РСМА) фазомінеральних складових марганцевого агломерату АМ-2 виробництва на агломашині К 4-50 БЗАФ з використанням у складі аглошихти концентрату ВММС шламу, виявлено взаємозв'язки мінеральних утворень у зразках агломерату АМ-2, хімічним складом асоціацій передбачених моделюванням системи «шихта».

6. В період 2013–2016 р.р. в умовах БЗАФ проведені серійні багатотоннажні дослідно-промислові експерименти щодо установа рраціональної долі концентрату ВММС шламу у складі суміші рудних концентратів, а саме 15, 20 і 25%. Установлено, що питома продуктивність виробництва агломерату АМ-2 може бути досягнута не більш, як при 15% (0,837 т/(м<sup>2</sup>·год)) и 20% (0,86 т/(м<sup>2</sup>·год)), що практично співпадає з даними спікання агломерату із типової аглошихти (0,845 т/(м<sup>2</sup>·год)).

7. Вперше в умовах БЗАФ виконано масштабне за змістом і тоннажністю промислове освоєння розробленої технології виробництва марганцевого агломерату АМ-2 з використанням у складі аглошихти концентрату ВММС шламу відпрацьованого шламонакопичувача до 30% і до 50% із реагентом РТГ.

8. Вперше проведено дослідно-промислові експерименти, розроблена і впроваджена в умовах агломераційного цеху АТ НЗФ технологія виробництва на агломашині типу АКМ-5-105 (площа спікання 115 м<sup>2</sup>) стандартного марганцевого агломерату з відповідними характеристиками міцності (76–76,5%) із залученням до 20% концентрату ВММС шламу для виплавки переробного марганцевого малофосфористого шлаку (до 40% Mn, 30–33% SiO<sub>2</sub>, до 0,03% P) при типовій продуктивності діючого технологічного агломераційного обладнання, що дозволило замінити у складі шихти для виплавки марганцевих феросплавів частину марганцевих імпорتنих руд марганцевим мало фосфористим шлаком.

9. Виконано комплексний аналіз екологічного впливу виробництва марганцевого агломерату на БЗАФ на навколишнє середовище, розроблених і впроваджених у

виробництво технологічних заходів. Вперше виконано математичне моделювання процесу розповсюдження пилогазових викидів при виробництві агломерату за участю у складі аглошихти концентрату ВММС шламу. Узагальнені у роботі результати моделювання свідчать, що розроблені і впроваджені у виробництво екологічні заходи при модернізації агломашини і пилогазоочисного обладнання забезпечують виробництво марганцевого агломерату відповідно до діючих норм гранично допустимих концентрацій і подальший стабільний розвиток БЗАФ у складі АТ ПЗГК.

10. Річний (2017р) економічний ефект впровадження розробленої технології агломерації марганцевого концентрату з використанням при виробництві агломерату АМ у складі аглошихти 30% концентрату ВММС шламу і вивільнення 2-го сорту оксидного концентрату та 1-го сорту карбонатного концентрату становить 37 751,1 тис.грн. Основні положення розробленої технології виробництва марганцевого агломерату АМ-2 з використанням концентрату ВММС шламу введено до технологічної інструкції промислового виробництва агломерату ТІ 1-2617 на БЗАФ ПЗГК на термін дії до 2024р. Відвантажено марганцевого агломерату на АТ ЗФЗ в період 2012-2017рр. 951,6 тис.т для виплавки феросилікомарганцю та високовуглецевого феромарганцю. В період з 2012р по 2017р. на АТ НЗФ було відвантажено для виробництва агломерату та виплавки переробного марганцевого низько фосфористого шлаку 264,4 тис.т. концентрату ВММС шлаку.

#### **Основні публікації за темою дисертації**

1. С.П.Шуваев, М.И.Гасик, А.В.Жаданос, А.С.Сальников, Ю.Н.Бортников. Рентгеноспектральный микроанализ минеральной структуры и химического состава марганцевого агломерата с применением в аглошихте концентрата высокоинтенсивной магнитной сепарации шламов обогащения марганцевой руды // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. № 20 . – 2017. – С. 102-110. (**Index Copernicus, Ulrich**).

2. С.П. Шуваев, Ю.И. Коркодол, Л.А. Куцевол, М.И. Гасик, А.В. Жаданос. Интегральная экологическая характеристика производства марганцевого агломерата на БОАФ и математическое моделирование распространения технологических и аспирационных пылегазовых выбросов в окружающую среду // СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МЕТАЛУРГІЇ. Том 19, Випуск 1 (2016). НАУКОВІ ВІСТІ. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2016. – С. 215-225. (**Index Copernicus, Ulrich**).

3. С.П. Шуваев, А.П. Кравченко, М.И. Гасик Исследование влияния обогащенных оксидами  $K_2O$  и  $Na_2O$  шлаков ферросиликомарганца на стойкость углеродистой футеровки ферросплавных печей // Металлургическая и горнорудная промышленность. -2005. - №1. - С. 17 - 19. (**Scopus <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6508384576>**).

4. А.П. Кравченко, С.П. Шуваев, М.И. Гасик Опытные промышленные исследования выплавки ферросиликомарганца с использованием в шихте нетрадиционных углеродистых восстановителей // Металлургическая и горнорудная промышленность. -2004. - № 3. - С. 41 - 44. (**Scopus - <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6508384576>**).

#### **Статті у наукових фахових виданнях:**

5. С.П.Шуваев, Ю.И.Коркодола, Л.Л.Куцевол, М.Гасик, А.В.Жаданос. Комплексный анализ влияния производственной деятельности ПАО «ОГОК» на окружающую среду и разработка мероприятий по обеспечению экологической

безопасности и устойчивого развития предприятия. Часть 1. Характеристики производственных мощностей по добыче марганцевой руды и технологической схемы ее обогащения // Экология и промышленность. 2017. - № 1. - С. 13-20.

6. С.П. Шуваев, Ю.И. Коркодола, Л.Л. Куцевол, М.И. Гасик, А.В. Жаданос. Комплексный анализ экологического воздействия производственной деятельности ПАО «ОГОК» на окружающую среду и разработка мероприятий по обеспечению дальнейшего устойчивого развития предприятия. Часть 2. Оценка эффективности мероприятий по сокращению объема пылегазовых выбросов при производстве марганцевого агломерата на Богдановской обогатительной фабрике // Экология и промышленность. – 2017. - № 2. – С. 12-18.

7. С.П. Шуваев, М.И. Гасик, А.В. Жаданос, А.С. Сальников, Ю.Н. Бортников. Рентгеноспектральный микроанализ химсостава структурных фаз марганцевого концентрата высокоинтенсивной магнитной сепарации шлама отработанного шламонакопителя // Теория и практика металлургии. – 2017. – № 1-2 – с. 13-17.

8. А.И. Михалев, А.Н. Овчарук, С.П. Шуваев, М.И. Гасик. Компьютерное моделирование термодинамики углеродовосстановительного процесса выплавки марганцевых ферросплавов в реальных условиях промышленного производства // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. № 20. – 2017. – С. 43-54.

9. М.И. Гасик, С.П. Шуваев, В.В. Подвысоцкий, В.И. Батраков. Разработка технологии и оборудования для окомкования марганецсодержащей пыли сухих газоочисток ферросплавных печей с коксовой мелочью // Металлургическая и горнорудная промышленность. -2006. - №2. - С. 22 - 27.

10. С.П. Шуваев, М.И. Гасик, В.В. Подвысоцкий, В.И. Батраков. Исследование распределения оксидов  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$  между продуктами плавки при получении ферросиликомарганца и ферромарганца в рудовосстановительных электропечах // Металлургическая и горнорудная промышленность. -2005. - №6. - С. 20 - 24.

#### **Статті у періодичних виданнях:**

11. С.П. Шуваев, Ю.С. Пройдак, М.И. Гасик. Рентгеноструктурное исследование марганцевых концентратов обогащения сырой руды и шлама отработанного шламонакопителя методом интенсивной мокрой магнитной сепарации // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2017. - № 4. – С. 13-18.

12. М.М. Гасик, М.И. Гасик, С.П. Шуваев. Моделирование термодинамического равновесия фаз комплексных оксидных систем в процессе агломерации марганцевых концентратов. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2017. - № 3. – С. 22-28.

13. С.П. Шуваев, М.И. Гасик, П.И. Пилов, Ю.С. Мастыка, В.Ю. Шумов, Л.З. Гребенюк. Комплексное обогащение марганцевых продуктов со стадией высокоинтенсивной магнитной сепарации и определение магнитных свойств марганцевых концентратов и агломерата // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2017. - № 1. – С. 35-44.

14. С.П. Шуваев, М.М. Гасик, М.И. Гасик. Исследование закономерности изменения энергии активации вязкого течения марганецсодержащих шлаковых систем выплавки ферросиликомарганца в зависимости от химсостава и температуры // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2017. - № 5. – С. 13-20.

15. В.С. Куцин, В.И. Ольшанский, С.П. Шуваев, М.И. Гасик. Разработка и промышленное освоение технологии производства марганцевого агломерата АМ-2 с вовлечением в аглошихту концентрата обогащения шламов отработанного

шламонакопителя // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2016. - № 6. – С. 8-14.

16. С.П.Шуваев, В.И.Бондарец, Л.Л.Куцевол, М.И.Гасик. Опытное-промышленное крупнотоннажное производство марганцевого агломерата АМ-2 с вовлечением в шихту концентрата магнитного обогащения шламов отработанных шламохранилищ // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2016. - № 3. – С. 42-47.

17. С.П. Шуваев, В.И. Бондарец, Л.А. Куцевол, М.И. Гасик. Разработка и промышленное освоение технологии производства марганцевого агломерата с применением в аглошихте концентрата обогащения шламов с отработанных шламохранилищ ПАО ОГОК // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2016. - № 2. - С. 59-67.

18. С.П. Шуваев, В.И. Бондарец, Л.А. Куцевол. Модернизация агломашины, агломерационного оборудования, совершенствование технологии производства марганцевого агломерата и внедрения новых пылеочистных установок на БОАФ // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2016. - № 1. - С. 34-39.

19. В.С.Куцин, В.И.Ольшанский, И.Ю.Филиппов, С.П.Шуваев, Ю.С.Пройдак. Разработка и освоение технологии производства малофосфористого марганцевого шлака из мелкодисперсного концентрата // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2016. - № 1. – С. 45-47.

20. В.В. Осипенко, В.Д. Осипенко, С.П. Шуваев, Ю.И. Коркодола. Разработка и внедрение новой технологии очистки отходящих газов при производстве марганцевого агломерата // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2015. - №4. - С. 128 - 132.

#### **Матеріали міжнародних наукових конгресів і конференцій:**

21. M.M. Gasik, M.I. Gasik, S.P. Shuvaev. Effect of high alkali content in ferrosilicomanganese slags on slag properties and on the destruction of furnace lining // *Infacon XV: International Ferro-Alloys Congress*, Edited by R.T. Jones&P. den Hoed, Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Cape Town, 25-28 February 2018 – p.p. 1-6.

22. V.S. Kutsin, V.I. Olshansky, I.Yu. Filipov, Yu.V. Dedov, S.P. Shuvaev, M.I. Gasik. Manganese agglomerate production technology development and industrial implementation using concentrate of high-intensity wet magnetic separation of slag of the worn-out slag collector of the Ordzonikidze Ore Mining and Processing Integrated Plant // *Infacon XV: International Ferro-Alloys Congress*, Edited by R.T. Jones&P. den Hoed, Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Cape Town, 25-28 February 2018 – p.p. 23-29.

23. Шуваєв С.П., Гасик М.І., Шутов В.Ю., Кабакова Н.Г., Гребенюк Л.З. Дослідження складу і властивостей марганцевих шламів та методів їх збагачення. – Тези науково-технічної конференції «Розвиток технології та суспільства». ДВНЗ «Криворізький національний технічний університет». м. Кривий Ріг, 24-26 травня 2017 р., С. 384.

24. Красников К.С., Шуваев С.П. Компьютерное моделирование влияния состава шихты и средней скорости движения воздуха на распределение температуры в слое. – Материалы Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в металлургии и машиностроении» г. Днепр, НМетАУ, 28-30 марта 2017г., С. 39.

### Патенти України

25. Пат. 36157А. Україна. МКИ С22С33/04. Спосіб виплавки феросилікомарганцю. / В.О.Гаврилов, В.А.Воронов, С.П.Шуваєв, В.Ф.Полікарпов, С.М.Корнієнко, О.Є.Єнюков. Опубл. 16.04.2001. Бюл. №3.

26. Пат. 35188 А. Україна. МКИ С 22 С 33/100. Шихта для виплавки вуглецевого феромарганцю і переробного шлаку / В.О.Воронов, В.Ф.Полікарпов, С.П.Шуваєв, С.М.Корнієнко. Опубл. 15.03.2000. Бюл. №2.

### АНОТАЦІЯ

**Шуваєв С.П. Розробка, освоєння і впровадження технології виробництва марганцевого агломерату та марганцевих феросплавів з використанням концентрату високоінтенсивної магнітної сепарації шламу**

Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів. Національна металургійна академія України, спеціалізована вчена рада Д.08.084.03. Дніпро, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної задачі ГМК України – розробці, дослідженню, промислому освоєнню і впровадженню наскрізної технологічної схеми і процесів виробництва марганцевого агломерату і виплавки конкурентоспроможних марганцевих феросплавів з різним вмістом фосфору. Проаналізовані принципова і кількісно-якісна схема збагачення оксидної марганцевої руди і сортамент концентратів. Корисне вилучення марганцю з руди в концентрати складає 73,74%, а вихід шламу при збагаченні сирової руди 59,64%. Заскладовано 129,5 млн. т шламу з середнім вмістом 12,3% Mn. Розроблена і освоєна технологія високоінтенсивної мокрої магнітної сепарації шламу з виробництвом марганцевих концентратів. Впроваджена технологія виробництва на БЗАФ агломерату марки АМ-2. Виконано комп'ютерне моделювання термодинамічної рівноваги однотипних фаз при спіканні агломераційної шихти з заміною долі рудних концентратів концентратом ВММСШ (ТУ У 07.2-00190928-007:2012). Приведені матеріали дослідно-промислового освоєння і впровадження виробництва агломерату (39,81–40,06% Mn) з концентратом ВММСШ без і з реагентом РТГ в умовах БЗАФ на модернізованій агломашині К 4-50( площа спікання 65 м<sup>2</sup>), а також в умовах аглоцеху ПАТ НЗФ на агломашині АКМ-5-105. Досягнуто регламентована питома продуктивність агломашин при агломерації розробленої аглошихти із концентратом ВММСШ и реагентом РТГ. Науково обґрунтовано і впроваджено технології виплавки переробного малофосфористого марганцевого шлаку (МФШ) із агломерату АМНВ-2 з використанням концентрату ВММСШ, а також виплавки марганцевих феросплавів на ПАТ НЗФ і переробного низькофосфористого марганцевого шлаку ШМП-78 на ПАТ ЗФЗ з використанням у складі шихти агломерату АМ-2. Приведено комплексний аналіз екологічного впливу виробництва марганцевого агломерату АМ-2 на БЗАФ на навколишнє середовище.

Основні положення розробленої технології марганцевого агломерату АМ-2 з використанням концентрату ВММСШ введені до технологічної інструкції по виробництву марганцевого агломерату на ПАТ ПГЗК ТИ 1-26-17 на термін дії до 2024р. Технологічною інструкцією ТІ НЗФ ОА-22:2017 підготовки шихтових матеріалів і виготовлення агломератів у агломераційному цеху передбачено використання тонкофракційних концентратів БЗАФ при виплавці МФШ.

**Ключові слова:** марганцева руда, збагачення, магнітна сепарація, агломерація, концентрати, мікроструктура, механічні властивості, виплавка марганцевих феросплавів, екологія.

## ABSTRACT

**Shuvaev S.P. .Development, pilot-industrial development and implementation of the technology production of manganese sinter production and smelting of manganese ferroalloys using the concentrate of high-intensity wet magnetic separation of sludge. – Qualification scientific work with rights of manuscript**

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.16.02 – Metallurgy of ferrous and nonferrous metals and special alloys. National metallurgical academy of Ukraine, special scientific council D.08.084.03. Dnipro, 2018.

The dissertation is focused on solving the urgent task of the MMC of Ukraine – development, research, industrial development and implementation of the through-flow technological scheme and processes for the production of concentrate using the technology of high-intensity magnetic separation (HIMS) of stored slimes of spent slag depositions, manganese agglomeration and smelting of competitive manganese ferroalloys with different phosphorus content. Principal and quantitative-qualitative scheme of enrichment of oxide manganese ore and assortment of concentrates are analyzed. At the concentrating factory of PJSC OGOK, the useful removal of manganese from ore into concentrates is 73,74%. Output of sludge ore enrichment of 59,64%. There are 129,5 million tons of sludge with an average content of 12,3% Mn found in the sludge storage. The technology of slurry separation with production of concentrates is developed and deployed technology of HIMS is implemented for manganese agglomerate production of AM-2 grade. A computer simulation of the thermodynamic equilibrium of the same type phases was performed at the sintering of an agglomeration charge with the replacement of ore concentrates in the mixture of the concentrate of the HIMS (TU U 07.2-00190928-007:2012) from the sludge slurry storage device. The materials of large-scale experimental and industrial development and the introduction of agglomerate production (39,81–40,06% Mn) using the VMPM concentrate without and using the RTG reagent in the conditions of BOAF in modernized sinter machine K 4-50 sintering area 65 m<sup>2</sup>, as well as in the conditions of the agglomeration division of JSC NZF on the agglomeration machine AKM-5-105. The regulated specific productivity of agglomerates has been achieved with the agglomeration of the agglomerate charge developed. Technology of smelting of slag of manganese processed ShMP-78 with the use of agglomerate AM-2 and AMNV-2 produced by BOAF PAO OGOK and agglomeration division of JSC NZF was developed and scientifically justified, and was introduced for smelting of manganese ferroalloys in ferroalloy furnaces of JSC ZFZ.

The main provisions, parameters and modes of production of manganese concentrates of HIMS, with their use of manganese agglomerate AM-2 and AMNV-g were included in the content of technological instructions for the production of agglomerate with the introduction of them for the period up to 2024.

The application of fine BOAF concentrates for smelting of ShMP-78 is foreseen by technology regulations TI NZF OA-22:2017 at the agglomeration plant.

**Key words:** manganese ore, enrichment, concentrates, sludges, magnetic separation, agglomeration, microstructure, mechanical properties, smelting of manganese ferroalloys, ecology.