

УДК 622.73

Л.Ж. ГОРОБЕЦ, д-р техн. наук,

Т.Ю. МАШКОВА

(Україна, Днепр, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОГНЕУПОРНОГО СЫРЬЯ УКРАИНЫ

Постановка проблемы. Месторождения, слагаемые талько-магнезитовыми породами, представляют интерес как источник получения талька и магнезита, нашедших широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Сырье для огнеупорной промышленности Украины многие годы поставлялось на предприятия с Урала. Развитие отечественной сырьевой базы возможно на основе двух талько-магнезитовых месторождений – Веселянского и Правдинского. Талько-магнезиты Веселянского месторождения изучены институтами огнеупоров (УНИИО, г. Харьков) и минеральных ресурсов (ИМР, г. Симферополь). Исследования обогащения породы методом флотации показали возможность получения талька с содержанием до 90% нерастворимого остатка и магнезитового концентрата низкого качества из-за наличия доломитизации и примесей железа.

Правдинское месторождение талько-магнезита Днепропетровской области, детально разведанное Новомосковской комплексной геолого-разведочной экспедицией (КГРЭ), характеризуется благоприятными горно-техническими условиями для эксплуатации его открытым способом. Запасы сырья – порядка 105 млн т.

Исследования талько-магнезитов Днепропетровской области как сырья для производства магнезиальных огнеупоров были начаты в в 1966 году в Украинском научно-исследовательском институте огнеупоров (УНИИО) Г.Ф. Гузенко. Разработанная технология обеспечивала требования ГОСТа на форстеритовые изделия при условии добавки спеченного (металлургического) саткинского магнезита (MgO) в количестве 4-3,6%.

С 1971 г. в Днепропетровском горном институте В.И. Кармазиным и Л.Ж. Горобец были продолжены исследования технологии обогащения талько-магнезитов по договору с трестом "Огнеупорнеруд" Технического управления МЧМ УССР [1, 2]. Задача обогащения с позиций огнеупорного производства состояла в выделении из того же сырья магнезитового концентрата, пригодного для производства форстеритовых изделий.

Согласно требованиям ГОСТа 14832-69 "Изделия огнеупорные, форстеритовые и форстерито-хромитовые для регенераторов металлургических агрегатов" (утвержден и введен в действие в 1969 г., переиздан в 2008 г.) форстеритовые изделия должны содержать не менее 54% MgO и не более 32% SiO₂, их пористость не должна превышать 25%, огнеупорность должна быть не ниже

Загальні питання технологій збагачення

1750 °С, температура начала деформации под нагрузкой – не ниже 1570 °С, а предел прочности при сжатии – не менее 280 кг/см³.

В магнезиально-силикатном сырье, применяемом для производства форстеритовых огнеупоров, не регламентируется содержание окислов железа. Однако значительное содержание этих окислов в сырье нежелательно по той причине, что замещение ионов магния ионом двухвалентного железа приводит к ослаблению связи в кристаллической решетке магнезита. Это проявляется в понижении температуры плавления материала. Кроме того, смена валентности железа в условиях переменной газовой атмосферы сопровождается объемными изменениями, что приводит к разрыхлению кирпича.

В связи с отсутствием данных предельного содержания окислов Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , FeO в магнезитовом концентрате, полученном обогащением талько-магнезитов, для установления пригодности продукта в форстеритовом производстве необходимо изготовление из него образцов огнеупорных изделий и определение их термомеханических характеристик.

Целью данной работы является анализ результатов проведенных экспериментальных исследований для обоснования рациональной технологии обогащения талько-магнезита, реализующей получение магнезиального концентрата, пригодного в производстве огнеупоров *без добавки спеченного магнезита*.

Решение проблемы исключения металлургических добавок, доставляемых с Урала, весьма актуально для современного развития отечественной огнеупорной отрасли Украины. В настоящее время это практически возможно, поскольку в Национальном горном университете успешно освоено применение новых технологий и техники для интенсивного раскрытия тонковкрапленных минералов и глубокого обогащения измельченного талько-магнезита [3-7].

Рассмотрим особенности строения и минерального состава исследуемого огнеупорного сырья. Талько-магнезитовые породы Правдинского месторождения содержат тальк, магнезит (брейнерит), в небольших количествах серпентин, магнетит, хромит, хлорит, доломитизированный магнезит и доломит. Содержание магнезита колеблется в пределах 45-55%. Порода сильно оталькована, тонковкрапленные минералы находятся в тесной ассоциации друг с другом: преобладает размер зерен магнезита 0,05-0,04 мм, талька 0,005-1 мм. Значительная часть магнетита находится в виде эмульсионных включений в зернах основных минералов. Это указывает на целесообразность применения тонкого измельчения с высокой эффективностью раскрытия тонковкрапленных минералов перед обогащением измельченного материала.

Основные результаты исследований. Из числа известных способов рудо-подготовки труднообогатимых видов сырья наиболее перспективен газоструйный способ, в котором достигается совмещение механической и термической обработки для избирательного раскрытия полезных минералов [6, 7]. Энергоносителем при газоструйном измельчении являются продукты

Загальні питання технологій збагачення

сгорания природного газа с температурой 550-600 °С. Согласно опытным данным при крупности продукта газоструйного измельчения ~ 20 мкм сrostки раскрываются практически полностью; при крупности частиц ~ 40 мкм сrostков содержится менее 3-5%.

Предложенная конструкция установки газоструйного измельчения реализовала совмещение с измельчением талько-магнезита одновременного процесса пневматической сепарации измельчаемого материала на тальковый и магнезитовый продукты [8]. Сравнительно с магнезитом повышенная измельчаемость талька и его чешуйчатое строение приводят к накоплению талька в тонких классах измельченного в струях продукта (9-12 мкм). Оценка качества продуктов проводилась по величине потерь при прокаливании (ппп), характеризующих содержание магнезита, и по содержанию нерастворимого остатка (или SiO₂) характеризующего количество талька в пробе.

В таблице 1 отражено соотношение зерен талька и магнезита в измельченном материале. В таблице 2 приведены данные седиментационных анализов продуктов струйной установки, накопленных в последовательно установленных пылесадителях.

Таблица 1

Крупность и качество зерен с преобладающим содержанием магнезита и талька
в продуктах газоструйного измельчения талько-магнезитов

Крупность частиц магнезита, мкм	ппп, %	Крупность частиц талька, мкм	ппп, %
39,2	36,9	11,5	18,8
38,0	–	11,9	–
46,5	–	12,1	–
47,7	–	12,05	–
40,6	38,5	8,9	20,9

Таблица 2

Результаты седиментационных анализов продуктов струйной установки

Классы крупности, мкм	Магнезитовый продукт				Тальковый продукт			
	Опыт 1		Опыт 2		Опыт 1		Опыт 2	
	γ, %	ппп, %	γ, %	ппп, %	γ, %	ппп, %	γ, %	ппп, %
+74	5,6	34,2	2,5	35,3	–	–	–	–
40-74	28,2	41,9	16,2	41,6	9,7	42,6	5,2	43,0
20-40	42,8	37,8	50,8	39,6	35,4	36,2	34,5	37,4
10-20	4,3	25,8	1,6	29,6	8,3	25,6	10,3	27,3
-10	19,1	19,8	28,9	22,0	46,6	19,5	50,0	19,3
Итого	100,0	34,8	100,0	34,6	100,0	28,1	100,0	27,6

Как видно, качество идентичных классов крупности в сравниваемых продуктах существенно не отличается, однако различен их гранулометрический состав, что обуславливает значительную разницу в ппп в магнезитовом (35%) и тальковом (28%) продуктах. Из анализа данных седиментации следует, что зерна магнезита накапливаются в классах более 20 мкм, талька – в классе менее

Загальні питання технологій збагачення

10 мкм. Содержание класса -10 мкм составляет в магнезитовом продукте 19-29%, в тальковом продукте – 46-50%, в пыли (продукте фильтра) – 70-74%.

Значительный выход класса 74-20 мкм с преобладающим содержанием магнезита указывает на отсутствие переизмельчения зерен магнезита. Избирательный характер газоструйного измельчения подтверждается качеством продукта, выносимого энергоносителем из мельницы в пылеуловитель: по содержанию SiO_2 он соответствует грубому тальковому концентрату. Таким образом, выявленные различия в крупности и плотности частиц магнезита и талька, транспортируемых газовыми потоками в классификатор, циклоны и пылесадитель, подтверждают совмещение с газоструйным измельчением процесса пневматической сепарации в газовых потоках с отдельным выделением магнезитового и талькового продуктов.

Лабораторные исследования обогатимости измельченного талькомагнезита показали целесообразность применения флотационно-магнитных методов обогащения [2, 4]. Меньшее на 10-11% содержание SiO_2 в магнезитовом продукте газоструйной установки обусловило в последующем процессе обогащения значительное улучшение качества магнезитового концентрата. Принципиальная технологическая схема комплексной переработки талькомагнезитовых пород показана на рисунке 1.

Для полупромышленного опробования разработанной технологии обогащения сырья и получения опытных партий магнезиального концентрата были проведены испытания в условиях опытной обогатительной фабрики Вольногорского горно-металлургического комбината. В соответствии с рекомендованной схемой была собрана технологическая линия оборудования. Схеме включала дробление в молотковой дробилке ДМ-6 керновых проб крупностью от 150-300 до 20-25 мм, газоструйное измельчение, флотацию талька катионным собирателем с применением высокомолекулярного флокулянта, флотацию магнезита жирно-кислотным собирателем, магнитную сепарацию в слабом поле на сепараторе 167АСЭ. Для флотации применяли машину ФМР-ГТА, обеспечивающую высокую степень аэрации пульпы за счет применения горизонтального трубчатого аэратора [5].

Представительная проба для испытаний (55 т), подготовленная Новомосковской КГРЭ, включала керновый материал скважин, расположенных в контуре утвержденных запасов месторождения, следующего содержания: 28,76-28,61% SiO_2 ; 34,86-35,5% MgO ; 0,51-0,57% Al_2O_3 ; 0,89-1,04% Fe_2O_3 ; 6,68-6,04% FeO ; 0,46-0,51% CaO ; 27,37-27,22 % ппп.

Перечислим интервалы изменения параметров и показателей газоструйного измельчения: избыточное давление энергоносителя – 0,24-0,25 МПа, расход воздуха 2450-2200 $\text{м}^3/\text{ч}$, природного газа 40-43 $\text{м}^3/\text{ч}$, влажность сырья 6-8%, производительность мельницы – 1,8-1,9 т/ч.

Приведем условия и технологические параметры процессов обогащения:

- флотации талька: расход собирателя (АНП-14) – 340 г/т; расход флокулянта (крахмал) – 120 г/т, $T : \text{Ж} = 1 : 4$, расход твердого – 4,24 т/ч, пульпы –

21,2 м³/ч, засасуваного повітря – 1,54 м³/мин;

- флотация магнезита: расход собирателя – реагента СЖК – 750 г/т; депрессора – жидкое стекло – 2000 г/т, сернокислый алюминий – 500 г/т, температура обработки депрессором – 60 °С при длительности 2-6 мин, температура флотации – 40 °С, Т : Ж=1 : 5, расход твердого – 2,12 т/ч, пульпы – 10,6 м³/ч, засасуваного повітря – 1,54 м³/мин;

- магнитная сепарация – напряженность магнитного поля – $95,5 \cdot 10^3$ А/м, Т:Ж= 1: 4, производительность – 5 т/ч.

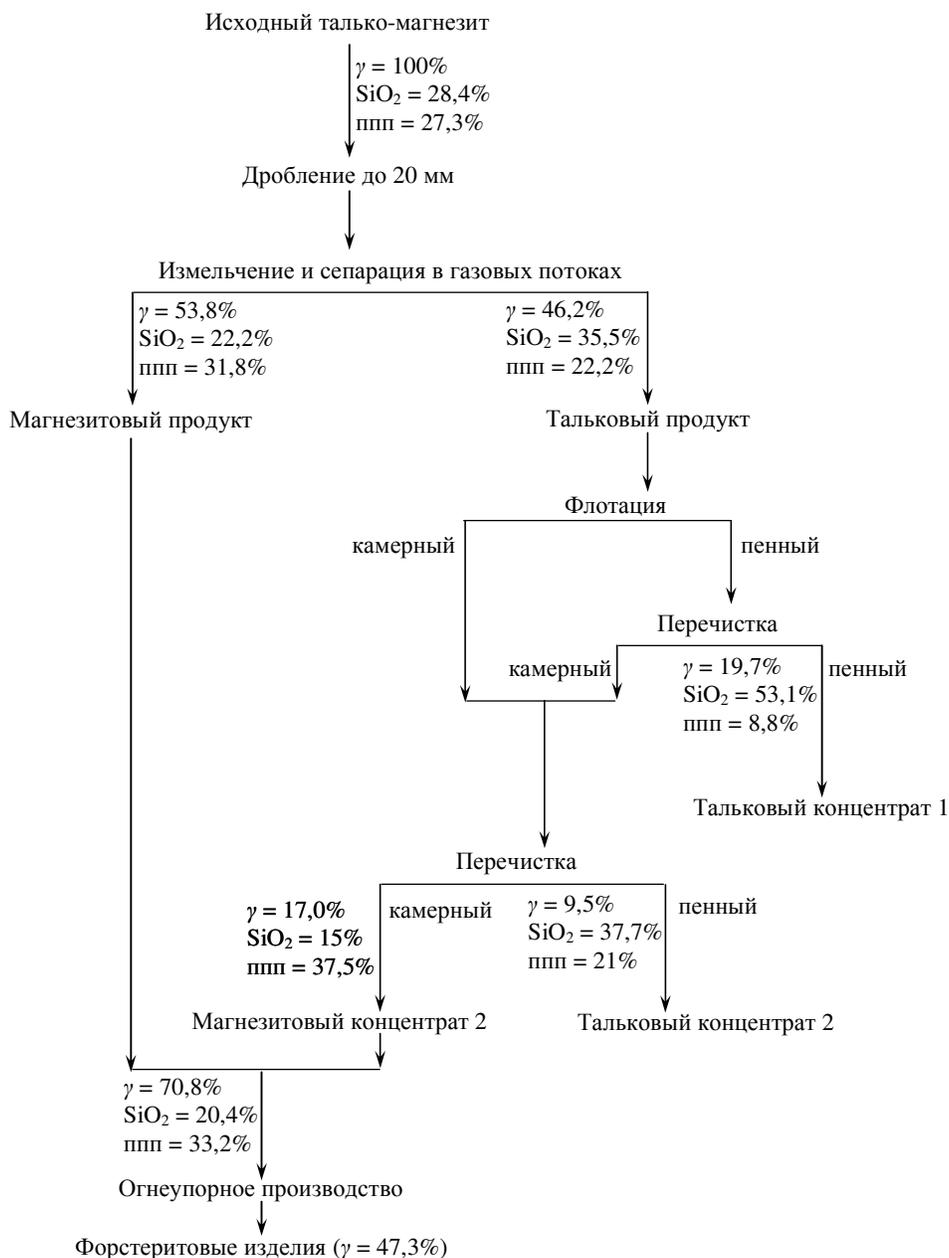


Рис. 1. Рекомендуемая технологическая схема комплексной переработки талько-магнезитов Правдинского месторождения

Загальні питання технологій збагачення

На рис. 1, 2 показаны схемы обогащения измельченных талько-магнезитов, в таблицах 1 и 2 приведены качественные показатели обогащения при получении двух опытных партий магниезиального концентрата в количестве по 2 т. Как видно из таблиц, схема с флотацией талька обеспечивает получение магниезиального концентрата в количестве 65,9% (13,6% SiO₂), схема с флотацией талька и магнезита – 44% (3,3% SiO₂).

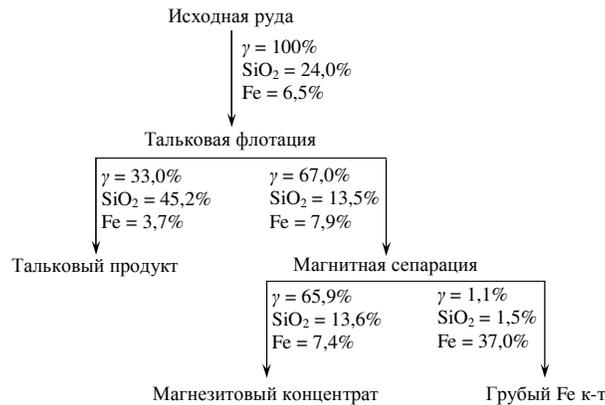


Рис. 2. Схема получения I партии магниезиального концентрата в количестве 2 тонны

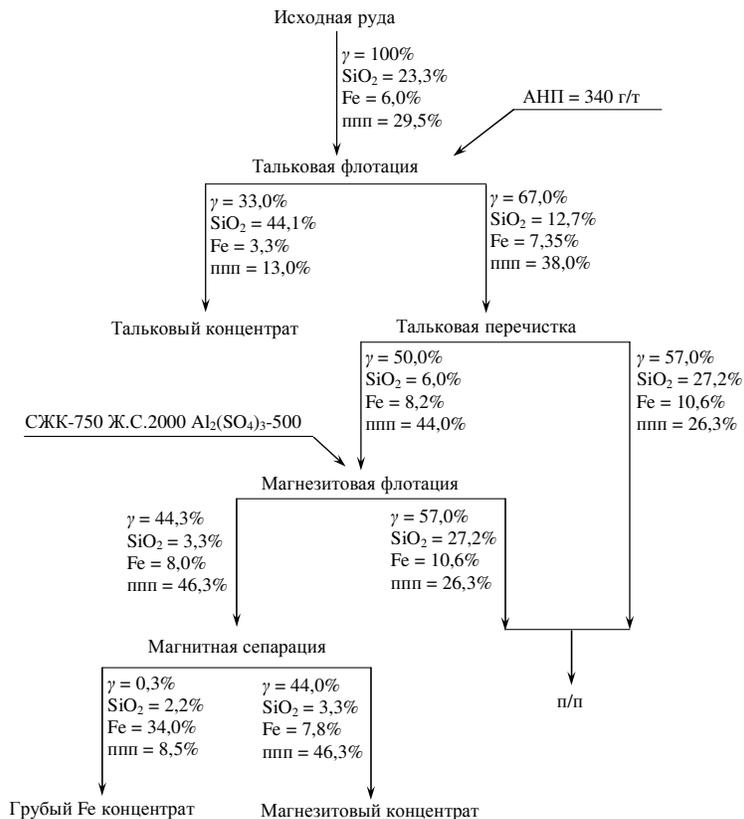


Рис. 3. Схема получения II партии магниезиального концентрата в количестве 2 тонны

Наряду с получением магнезильного концентрата при переработке талько-магнезитов получаем тальковые продукты в виде пыли, улавливаемой в пылесистемах дробильной и помольной установок, и грубого талькового флотационного концентрата. Общий выход тальковых продуктов с содержанием 40-43% SiO₂ составляет по первой схеме 46,4%, по второй 60% при выходе пыли до 20%.

Применение перечистных операций флотации талькового продукта позволило получить концентраты талька 1 и 2 сортов [3]. В зависимости от качества тальковые концентраты могут быть использованы как наполнитель при производстве бумаги, резины или электроизоляционных материалов, а также применены в литейной, керамической, кабельной и других отраслях промышленности.

На рис. 3 приведена рекомендуемая технологическая схема комплексной переработки талько-магнезитов Правдинского месторождения. Общий выход кондиционных продуктов по разработанной схеме составил 89,7%.

Пробы магнезильного концентрата с различным содержанием компонентов (49,5-71,3% MgO, 5,6-35,0% SiO₂, 11,3-20,9% Fe₂O₃) подвергали термомеханическим испытаниям, проведенным в лабораториях УНИИО и Пантелеймоновского огнеупорного завода [5]. В табл. 3 приведен химический состав магнезильных концентратов двух опытных партий.

Таблица 3

Химический состав магнезильных концентратов, % (вес.)*

Партия	MgO	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ + +TiO ₂	CaO	Cr ₂ O ₃	CO ₂	H ₂ O	ппп
I	<u>35,34</u>	<u>14,66</u>	<u>6,66</u>	<u>1,71</u>	<u>2,1</u>	<u>0,94</u>	<u>0,45</u>	<u>33,74</u>	<u>3,04</u>	<u>36,78</u>
	56,15	23,32	12,19	2,72	3,34	1,49	0,71	—	—	—
II	<u>37,66</u>	<u>4,86</u>	<u>8,93</u>	<u>1,36</u>	<u>1,45</u>	<u>1,0</u>	<u>0,3</u>	<u>43,44</u>	<u>1,28</u>	<u>44,72</u>
	67,78	8,74	16,07	2,44	2,6	1,79	0,52	—	—	—

* В числителе – на сырое вещество, в знаменателе – на прокаленное вещество

При изготовлении из концентратов форстеритовых изделий исключалось дополнительное измельчение перед брикетированием из-за достаточной тонины помола продукта. Предварительный обжиг сырья и изделий был проведен при 1600 °С. Длительность выдержки брикета при максимальной температуре составляла 6 часов. Брикет дробили и измельчали на оборудовании Опытного завода УНИИО, представленном щековой и валковой дробилками, шаровой мельницей. Из фракций дробленого продукта были изготовлены опытные партии кирпича марки Ф-4 размерами 300×150×65 мм (табл. 4).

Опытный кирпич характеризуется высокими значениями плотности и прочности, низкой пористостью. По всем показателям, за исключением огнеупорности кирпича партии № 1 (ниже на 20 °С, чем предусмотрено стандартом), изделия отвечают требованиям ГОСТ 14832-69 на форстеритовые огнеупоры.

Свойства форстеритовых изделий

Партия кирпича	Плотность, г/см ³	Кажущаяся плотность, г/см ³	Пористость, %	Огнеупорность, °С	Температура деформации под нагрузкой 2 кгс/см ²			Предел прочности при сжатии, кгс/см ²	Термостойкость, водяные теплосъемы от 1300 °С
					начало размягчения	4% сжатия	разрушение		
1	3,54	3,23	8,8	1730	1590	1640	1650	830	1-2
2	3,66	3,19	12,5	1980	1580	1660	1680	700	1-2

В дальнейшем партия опытных кирпичей в количестве около 2 т была испытана в насадке регенератора мартеновской печи Харьковского завода транспортного машиностроения им. Малышева, прослужила 288 плавов и далее заменена форстеритовым кирпичом в связи с остановкой печи на холодный ремонт. Испытания показали равностойкость кирпича, изготовленного из магнезиального концентрата, и форстеритового кирпича из дунита [5].

Выводы

1. Основу разработки технологии переработки огнеупорного сырья Украины (талько-магнезитов Правдинского месторождения Днепропетровской области) составила газоструйная технология измельчения, реализующая совмещение тонкого избирательного измельчения (до 100% -74 мкм) и пневматической сепарации с отдельным получением магнезитового и талькового продуктов различного качества.

2. Предложенная технология флотационно-магнитного обогащения измельченных талько-магнезитов исследована в лабораторных (ДГИ, НГУ) и испытана в полупромышленных условиях (ОФ ВГМК) с получением опытных партий магнезиального концентрата и изготовлением опытных партий кирпича форстеритовых огнеупоров на оборудовании Опытного завода УНИИО.

3. Результаты оценки термо-механических свойств форстеритовых изделий показали их соответствие требованиям ГОСТа на форстеритовые огнеупоры. Опытный кирпич в количестве 2 тонны был испытан в насадке регенератора Мартеновской печи Харьковского завода транспортного машиностроения и выдержал 288 плавов.

4. Выполненные в УНИИО технико-экономические расчеты дают основание считать технически возможной и экономически выгодной использование обогащенного магнезиального концентрата для производства форстеритовых огнеупоров *без добавки в шихту спеченного магнезита*.

5. Полная замена привозного огнеупорного сырья на отечественное вполне реальна на базе Правдинского месторождения путем строительства рудника мощностью около 253 тыс. т пород, обогатительной фабрики производительностью порядка 100 тыс. т магнезиального концентрата и 40 тыс. т тальковых концентратов, а также цеха форстеритовых огнеупоров – порядка 65 тыс. тонн изделий в год.

Список литературы

1. Кармазин В.И., Горобец Л.Ж., Бебеш А.А. Исследование измельчения и обогатимости талькомагнезитовых пород Правдинского месторождения УССР // Обогащение полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 1971. – Вып. 9. – С. 28-29.
2. О влиянии высокомолекулярных флокулянтов на флотацию талько-магнезитов Правдинского месторождения / Л.Ж. Горобец, В.И. Кармазин, В.Г. Задорожный и др. // Обогащение полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 1972. – Вып. 11. – С. 10-12.
3. Горобец Л.Ж. Исследование газоструйного измельчения железистых кварцитов Кривбасса: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1967. – 21 с.
4. Горобец Л.Ж., Попков В.И., Краснопер П.Т. О выделении магнезитового концентрата из талько-магнезитов Правдинского месторождения // Обогащение полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 1973. – Вып. 12. – С. 3-9.
5. Форстеритовые огнеупоры из талько-магнезита Правдинского месторождения / Л.Ж. Горобец, В.И. Кармазин, В.И. Горобец и др. // Огнеупоры. – 1974. – № 12. – С. 10-15.
6. Горобец В.И., Горобец Л.Ж. Новое направление работ по измельчению. – М.: Недра, 1977. – 183 с.
7. Горобец Л.Ж. Развитие научных основ измельчения твердых полезных ископаемых. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Днепр-ск: НГУ, 2004. – 35 с.
8. Исследование процесса совмещенного измельчения и сепарации в газовых потоках талько-магнезитов / Л.Ж. Горобец, В.И. Горобец, И.М. Чеберячко и др. // Обогащение полезных ископаемых: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 1977. – Вып. 20. – С. 69-72.

© Горобец Л.Ж., Машкова Т.Ю., 2017

*Надійшла до редколегії 30.12.2016 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*