

Рассмотрим один из типичных источников газовой выделения в тупиковой горной выработке - взрыв. Взрыв является очень кратковременным процессом, и при идеализации можно принять, что он происходит мгновенно. Тогда, считая, что взрыв произошел в момент времени $t=0$

$$q_S^{\text{вп}}(t) = M\delta(t), \quad (14)$$

где M - средняя масса газа, выбрасываемого при взрыве с единицы площади торца выработки, мг/м².

Решение (13) с учетом (14) имеет вид

$$C(x, t) = \frac{M}{2\sqrt{\pi Dt}} \left(\exp\left(-\frac{(x-Ut)^2}{4Dt}\right) + \exp\left(-\frac{(x+Ut)^2}{4Dt}\right) \right). \quad (15)$$

Перейдем к рассмотрению конкретного примера.

Опыт показывает, что коэффициент турбулентной диффузии на пять порядков превосходит коэффициенты ламинарной диффузии для большинства газов, и составляет примерно 1 м²/с [2]. Типичная длина выработки - 100 м. Для решения задачи о взрыве необходимо знать массу вредного газа, выбрасываемого с единицы площади торца выработки M . Принимаем площадь 10 м². Одним из наиболее вредных газов, образующихся при взрыве, является угарный газ СО. По данным [3], достоверно такое максимальное значение: 60 л/кгВВ для СО. Масса ВВ - 64 кг. Плотность СО - 1,15 кг/м³. Путем элементарных вычислений находим, что при взрыве выделяется 4,416 кг СО 30 % газа остается в породе. Таким образом, M равно $3,09 \cdot 10^5$ мг/м². После взрыва выработка проветривается со средней скоростью $U=0,25$ м/с.

Графическое представление вычислений по формуле (15) с использованием приведенных численных значений см. на рис. 2.

Анализ графиков говорит о высоких значениях концентрации СО (порядка сотен ПДК). Однако газовое облако быстро выносится из выработки, рассеиваясь при этом.

Таким образом, в проведенном теоретическом исследовании было получено общее решение задачи о пространственно-временном распределении вредного газа в тупиковой горной выработке и рассмотрен конкретный пример распространения СО после взрыва, что позволит применить количественный подход и с высокой степенью объективности оценивать профессиональные риски в области охраны труда, сравнивать их с нормативными и при необходимости, принимать меры по их снижению, как на стадии проектных работ, так и для условий действующего производства.

Список литературы

1. А.Н. Тихонов, А.А. Самарский Уравнения математической физики, М.: Наука, 1966. – 724с.
2. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика, Т.1. – М.: Наука, 1965. – 640с.
3. Янов А.П., Ващенко В.С. Защита рудничной атмосферы от загрязнения, М.: Недра, 1977. – 263с.

Рукопись поступила в редакцию 17.04.12

УДК 622.733:622.774913.1:622.765

М.О. ОЛЕЙНИК, С.В. МИХНО, аспиранты
ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТОПОЛОГИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОБОГАЩЕНИЯ ТИТАНОМАГНЕТИТОВОЙ РУДЫ КОРЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ УКРАИНЫ

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Сложные технологические схемы обогащения комплексного титановых руд коренных месторождений имеют разную направленность, а их надежность в общем случае количественно определяется совокупностью показателей или характеристик надежности для каждого из этих направлений и определяет обобщенную оценку эффективности обогатительного производств. Поэтому, одним из важнейших направлений повышения эффективности комплексной технологии является сохранение основных технических характеристик процессов в течение эксплуатации технологического решения на основе использования таких методов надежности топологии схемы, как:

увеличение всех видов надежности за счет применения наиболее надежного, выпускаемого серийно стандартизированного и унифицированного оборудования, контроля его работы и выбора оптимальных режимов;

проведение проверки работоспособности как отдельных блоков схемы, стадий схемы, так и самой технологии в целом, диагностическое прогнозирование снижения показателей обогащения руды с целью их предупреждения.

Анализ исследований и публикаций. Следует отметить, что надежность технологической топологии зависит от структуры технологических связей ее элементов и позволяет оценивать надежность технологии уже на первых стадиях исследований. Анализ надежности технологической топологии схемы состоит в нахождении в ней скрытых структурных недостатков системы и в определении минимального множества элементов, отказ которых приведет к отказу системы в целом, т.е. в определении элементов, являющихся «узкими» местами схемы (наиболее нагруженных технологическими связями), с целью выбора их оптимальной структуры. В целях создания работоспособных и высоконадежных технологических объектов на каждой стадии исследований применяются методы обеспечения и повышения надежности [1-3]. Надежность технологической топологии схемы повышают либо путем изменения структуры технологических связей, либо путем ввода резервных технологических связей и резерва для элементов, являющихся ее «узкими» местами. Для этих элементов также необходимо обеспечить повышение их физической надежности уже на стадии проверки технологии с оптимальной ее организацией и контролем качества продуктов обогащения, так как именно это обеспечит повышение эксплуатационной надежности технологии в целом.

Для повышения надежности как элементов технологической схемы обогащения комплексных руд, так и ее в целом, в первую очередь, необходимо проанализировать возможность повышения надежности ее элементов, причем эффект будет тем значительнее, чем сложнее система и чем больше в ней элементов [1].

Постановка задачи. Поэтому целью работы явилось выявление особенностей вещественного состава комплексных руд Кропивнянского месторождения Украины, влияющих на элементы топологии схемы, технологические показатели их обогащения, и разработка критериев прогноза технологических свойств с их использованием при дальнейших работах.

Изложение материала и результаты. Для достижения поставленной цели было проведено магнитное фракционирование каждого класса крупности с детальным минералогическим анализом полученных фракций [4].

Анализ результатов минералогического анализа продуктов магнитного фракционирования показал, что титаномагнетит начинает выделяться при крупности $-1+0,5$ мм - содержание его в сильномагнитной фракции составляет 9,2%. При крупности $-0,5+0,25$ мм количество титаномагнетита в сильномагнитной фракции возрастает до 23,3%, и самое его значительное количество наблюдается в классе крупности $-0,25+0,1$ мм - 48,5%. Свободный ильменит появляется в слабомагнитной фракции при крупности $-1+0,5$ мм, где количество его составляет всего 0,7 %. Количество сростков ильменита с магнетитом даже при крупности $-0,1+0,074$ мм еще достаточно высоко и составляет в сильномагнитной фракции 28,3 %. Количество сростков магнетита с апатитом и силикатными минералами даже при крупности $-0,5+0,25$ мм составляет 22,6 %, при крупности $-0,25+0,1$ - 12,7 % и $-0,1+0,074$ - 6,2 %. Таким образом, полное раскрытие титаномагнетита от апатита и силикатных минералов не наступает даже при очень малой крупности. Соответствующие показатели для ильменита в сростках с силикатами и апатитом при крупности $-0,5+0,25$ мм составляют 13,7%, при крупности $-0,25+0,1$ мм - 3,3 % и при крупности $-0,1+0,074$ мм - 4,2 %. Для коренных руд Кропивнянского месторождения свободный магнетит появляется уже в сильномагнитной фракции крупностью $-3+1$ мм (70,2 %, при содержании сростков магнетита с ильменитом 26,7 %). Но при этой крупности количество титаномагнетита в сростках с силикатами и апатитом составляет 9,8 %. При крупности $-1+0,5$ мм и $-0,5+0,25$ мм количество сростков ильменита и титаномагнетита в сильномагнитной фракции практически не снижается. Лишь при крупности $-0,25+0,1$ мм количество сростков титаномагнетита с силикатами и апатитом в сильномагнитной фракции снижается до 5,3 %, а при крупности $-0,1+0,074$ мм до 2,3 %. По результатам магнитного фракционирования и минералогического анализа, в технологической схеме для выделения титаномагнетитового концентрата, обоснована начальная крупность мокрой магнитной сепарации - $0,25-0,2$ мм. При этом получение высококачест-

венных титаномагнетитовых концентратов будет в определенной мере затруднено наличием сростков титаномагнетита с силикатами даже при крупности - 0,1 мм. Поэтому в цикле получения титаномагнетитового концентрата необходимо предусмотреть межцикловое измельчение до крупности 99 % класса менее 0,074 мм, так как титаномагнетит полностью раскрыт только при крупности 0,044 мм.

Следует отметить, что чистый титаномагнетитовый концентрат без примесей силикатных минералов и апатита проблематично получить даже при низкой крупности обогащения, о чем и свидетельствуют приведенные данные раскрытия минеральных зерен.

Что касается получения ильменитового концентрата, то свободный ильменит в слабomagнитных фракциях появляется уже при крупности -3+1 мм. Однако сростков ильменита с силикатами и апатитом при этой крупности в слабomagнитной фракции содержится 15% и в классе -1+0,5 мм и -0,5+0,25 мм не снижается и лишь при крупности -0,25+0,1 мм составляет 2,8 %. Количество совместных сростков магнетита, ильменита, апатитов и силикатов в классе крупностью -3+1 мм составляет 2,1%, в классах -1+0,5 мм и -0,5+0,25 мм снижается до 1,1 и 0,9 % соответственно, а в материале мельче 0,25 мм таких сростков не наблюдается. В руде отмечается наличие силикатных минералов и апатита с включениями темноцветных железосодержащих минералов, что предопределяет переход их в слабomagнитную ильменитсодержащую фракцию. В слабomagнитной фракции крупностью -3+1 мм таких ожелезненных силикатов и апатита содержится 12,5 %, крупностью -1+0,5 мм - 10,6 % при крупности -0,5+0,25 мм - 8,8 % и даже при крупности -0,25+0,1 мм и -0,1+0,074 мм снижается только до 5 %. Приведенные данные указывают на невозможность получения кондиционных ильменитовых концентратов только магнитным методом. Для удаления из черного ильменитового концентрата ожелезненных силикатных минералов и апатита в технологической схеме необходимо предусмотреть гравитационное обогащение, что неизбежно повлечет снижение извлечения ильменита из руды.

После магнитного фракционирования для подтверждения выводов была проведена магнитная сепарация в слабом и сильных полях, результаты которой приведены в табл. В результате анализа выполненных исследований по магнитной сепарации, в целом, выявлена четкая иерархия перехода в магнитные фракции сростков в зависимости от магнетита. Любой сросток, содержащий магнетит, переходит в сильномагнитную фракцию (порядка 0,1 Тл): сростки магнетита с ильменитом полностью переходят в сильномагнитную (магнетитовую) фракцию, сростки магнетит - ильменит - силикаты - апатит также переходят в магнетитовую фракцию, даже светлые породные силикатные минералы в основном анортозит с включениями магнетита переходят в магнетитовую фракцию. Сростки ильменита с силикатными минералами переходят в слабomagнитную (ильменитовую) фракцию. В эту же фракцию переходят темноцветные железосодержащие силикатные минералы, а также апатит с включением темноцветных силикатов.

Таблица

Результаты магнитной сепарации руды Кропивенского месторождения										
Продукты	Выход %	Минералогические зерна и агрегаты зерен								Всего
		титаномагнетит	ильменит	апатит	оливин	пироксен	плагиоклаз	сульфиды***	другие****	
<i>Сухая магнитная сепарация</i>										
выходит:										
магнитный продукт	92,88	20,70*	3,90	6,90	14,70	43,1	8,90	0,70	1,10	100
		19,2**	3,6	6,4	13,7	40,0	8,3	0,7	1,0	92,88
немагнитный продукт	7,12	1,90	7,40	7,10	17,40	49,10	12,70	0,10	4,30	100
		0,1	0,5	0,5	1,2	3,5	0,9	0,0	0,3	7,12
<i>Мокрая магнитная сепарация в слабом поле</i>										
приходит										
магнитный продукт СМС	92,88	20,70*	3,90	6,90	14,70	43,1	8,90	0,70	1,10	100
		19,2	3,6	6,4	13,7	40,0	8,3	0,7	1,0	92,88
выходит										
магнитный продукт - титаномагнетитовый концентрат	17,89	96,80	0,20	0,10	0,30	1,10	0,20	1,10	0,20	100
		17,32	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	17,89
немагнитный продукт	73,49	2,10	4,30	8,20	17,60	52,40	13,10	0,20	2,10	100
		1,54	3,2	6,0	12,9	38,5	9,6	0,1	1,5	73,13
сливы	1,5	2,40	3,90	2,30	22,40	59,80	7,80	0,10	1,30	100
		0,04	0,1	0,0	0,3	0,9	0,1	0,0	0,0	1,87
<i>Мокрая магнитная сепарация в сильном поле (ВГМС)</i>										
приходит										
немагнитный продукт	73,49	2,10	4,30	8,20	17,60	52,40	13,10	0,20	2,10	100,0
		1,54	3,2	6,0	12,9	38,5	9,6	0,1	1,5	73,13

выходит										
магнитный продукт	28,83	3,10	14,40	1,10	15,30	65,40	0,10	0,30	0,30	100,0
		0,89	4,2	0,3	4,4	18,9	0,0	0,1	0,1	28,83
немагнитный продукт	44,3	0,60	0,10	11,70	18,70	43,60	22,10	0,10	3,10	100,0
		0,27	0,0	5,2	8,3	19,3	9,8	0,0	1,4	44,30
слив сгущения продуктов	0,36	4,10	4,60	20,10	29,30	40,10	0,10	1,60	1,60	100,0
		0,00	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	2,93

*- продукт принят как 100%;**- доля от исходной руды; *** - пирротин, пентландит, халькопирит, пирит; **** - хлорит, биотит, серпентин, гидрогётит.

В немагнитную фракцию переходят «чистые» светлые силикатные минералы и апатит без каких-либо включений темноцветных (рудных и нерудных) минералов [4]. Указанную иерархию минеральных ассоциаций по магнитным свойствам иллюстрируют величины извлечения различных минералов в слабомагнитную (ильменитовую) фракцию - 66-99,9 %. Так, свободный ильменит практически полностью переходит в сильномагнитную фракцию. Из общего количества «чистых» силикатных темноцветных и светлых силикатов в данную фракцию переходят до 70 % от их общей массы. Это амфиболы (роговая обманка) и пироксены. В эту фракцию переходит также большинство светлых силикатов и апатита с включениями темных (рудных и нерудных) силикатов - около 90-100 %. Часть светлых силикатов с включениями магнетита переходит в сильномагнитную фракцию.

В результате анализа проведенных исследований была разработана технологии обогащения титаномагнетитовой руды Кропивенского месторождения, топология которой имеет сложную структуру, так как состоит из четырех функциональных блоков. В первом технологическом блоке предусмотрено магнитное обогащение руды крупностью 16-0 мм сухим методом в сильном поле, что позволит решить задачу уменьшения количества материала, подаваемого на сушку в конце технологической схемы (рис. 1). Второй третий и четвертый технологические блоки предусматривают выделение трех концентратов (титаномагнетитового, ильменитового, апатитового) и взаимосвязаны между собой.

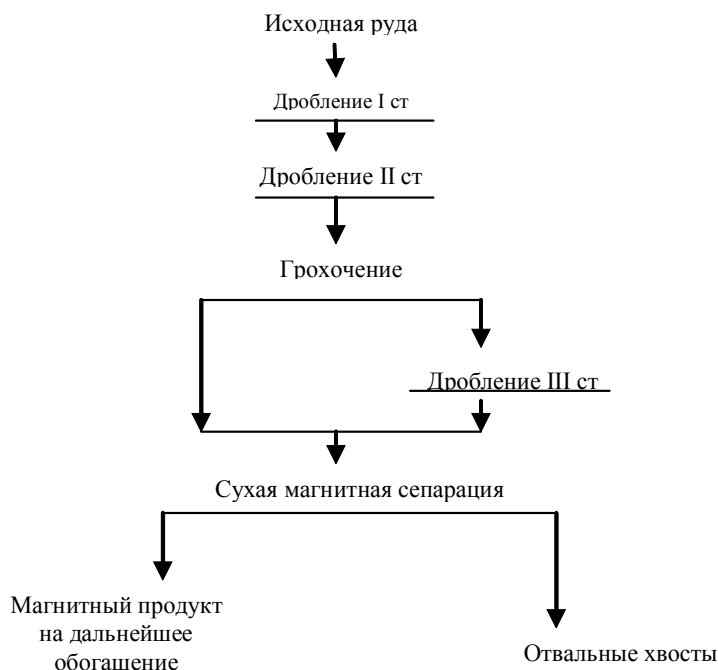


Рис. 1. Схема подготовки руды к обогащению

тяжелых рудных минералов предусматривается ситовая классификация с учетом размера зерна (тонкое грохочение), которая явно предпочтительнее любого другого вида гидравлической классификации по равнопадаемости (рис. 2).

Измельчение сырья предусматривается осуществлять в одну стадию до крупности 0,2-0 мм в мельнице, работающей в замкнутом цикле с классификацией в классификаторе с непогруженной спиралью. Для снижения переизмельчения и последующих потерь при магнитном обогащении ильменита схема предусматривает выделение готового по крупности материала в питание мельниц II стадии и величину циркулирующей нагрузки около 100% от массы исходного питания.

С учетом большей плотности ильменита и титаномагнетита ($4,7 \text{ т/м}^3$) по сравнению с плотностью силикатных породных минералов ($2,7-3 \text{ т/м}^3$) для снижения переизмельчения

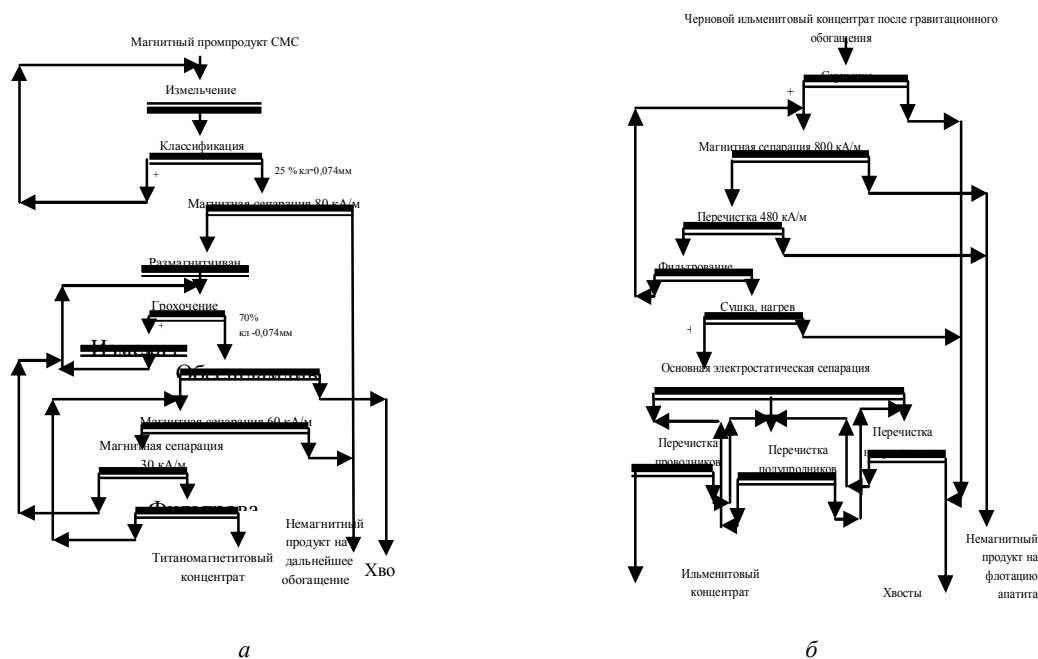


Рис. 2. Технологические блоки получения титаномagnetитового *а* и ильменитового концентратов *б*

Получение ванадийсодержащих титаномagnetитовых концентратов предполагается с помощью магнитной сепарации в слабом поле (см. рис. 2), и далее немагнитная фракция подается на магнитную сепарацию в сильном поле. В результате в черновой концентрат извлекается ильменит, оливин и пироксен. Черновой ильменитовый концентрат направляется на сушку, и затем на электростатическое обогащение, так как ильменит, в отличие от темноцветных минералов, обладает электропроводностью (см. рис. 2). Поэтому для получения кондиционного ильменитового концентрата и рекомендуется его электростатическое обогащение.

Как уже указывалось выше немагнитный продукт ВГМС в основном представлен пироксеном, оливином, плагиоклазом и апатитом. Для получения товарного апатитового концентрата с массовой долей P_2O_5 не менее 38% и массовой долей TiO_2 не более 0,2% и в связи с тем, что апатит относится к природно-гидрофобных минералов в схеме рекомендуется его флотация в щелочной среде.

В результате обогащения руды Кропивенского месторождения по разработанной технологии получено три концентрата: титаномagnetитовый, ильменитовый и апатитовый.

Титаномagnetитовый концентрат представлен на 21,96-22,8 % - TiO_2 , 52,67-52,8 % - $Fe_{общ.}$. Следует отметить, что содержание V_2O_5 в продукте - 0,503-0,9 %. Полуколичественным спектральным анализом в концентрате установлено наличие скандия 0,0035 %, цинка 0,02 %, кобальта 0,015 %, свинца 0,0001 %, никеля 0,005, хрома 0,005 % и меди 0,010 %. Основным минералом концентрата является титаномagnetит (магнетит с тонкой сеткой ульвошпинели, реже мелкими вростками ильменита), содержание которого колеблется от 94,4 об. % до 96,8 %. Как примеси в его состав входят сульфиды и пироксен от 0,9 до 1,1 об.%. Количество ильменита 1,3 %, а апатита, оливина, плагиоклаза и других не превышает 0,3% каждого.

Как показал химический анализ, массовая доля TiO_2 в ильменитовом концентрате составила 47,8-48,2 %, $Fe_{общ.}$ - 38,8-37,8 %, V_2O_5 - 0,153-0,239 %, P_2O_5 - 0,3-0,32%, SiO_2 - 1,3 %. Минералогический анализ показал колебания значений содержания ильменита в концентрате от 84,3 до 96,4%. Титаномagnetита в нем содержится от 1,9 до 8,2%, пироксена - 0,2-3,9%, оливина - 0,2-3,2%, сульфидов - 0,3-1,9%, апатита - 0,0-0,1%. Данный концентрат соответствует техническим требованиям, предъявляемым к продуктам для металлургического производства титанового шлака и металлического титана, а также для производства титановых пигментов.

Апатитовый концентрат представлен на 38,5-39,84% P_2O_5 и 54,5% CaO. Полуколичественным спектральным анализом в апатитовом концентрате установлено сосредоточение редких

земель: иттрия - 0,05 %, иттербия - 0,002-0,005 %. Апатитовый концентрат представлен апатитом от 94,3 до 98,2. Как примеси присутствуют плагиоклаз 0,6-2,1 %, пироксен 0,9-2,2 %, оливин 0,1-1,2 %.

Таким образом, в результате обоснования элементов топологии технологических схем обогащения руды Кропивенского месторождения Украины, предложена технология комплексного обогащения, согласно которой исходную руду необходимо дробить в три стадии до 16(10)-0 мм, измельчать до крупности 0,25-0,2 мм и делить на четыре технологических блока. Технологический блок получения титаномагнетитовых концентратов включает два блока: блок сухой магнитной сепарации и блок магнитной технологии в слабом поле с дополнительной стадией измельчения. Блок выделения ильменитового концентрата осуществляется по гравитационно-магнитно-электростатической технологии. Так как эти руды содержат и еще один ценный минерал апатит и получение апатитового концентрата возможно только по флотационной технологии, то технологическая схема обязательно содержит флотационную цепочку получения апатитового концентрата с дополнительным измельчением промпродуктов.

Список литературы

1. Надежность технических систем // **Е.В. Сугак, Н.В. Василенко, Г.Г. Назаров** и др. – Красноярск: МГП «РАСКО». – 2001.
 2. ГОСТ 27.003-90. Надежность в технике. Состав и общие требования по надежности. М.: Изд-во стандартов. - 1990.
 3. **Олійник М.О., Михно С.В.** Повышение надежности технологической схемы обогащения титансодержащей руды Кропивенского месторождения // Збагачення корисних копалин. - Дніпропетровськ, 2012. - Вип. 48(89). - С.31-37.
 4. **Олійник Т.А., Поліщук О.В., Олійник М.О.** Закономірності магнітної сепарації титаномагнетиту комплексних руд корінних родовищ України // Вісник Криворізького технічного університету, 2008. - Вип.21. - С.66-71.
- Рукопись поступила в редакцию 12.02.12

УДК 622.7.012

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук, проф., Л.В. СКЛЯР, канд.техн.наук, доц.,
М.А. ПІСКУНОВА, магістр, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ ВОГНЕТРИВКОЇ СИРОВИНИ ПРАВДИНСЬКОГО РОДОВИЩА

Визначено характеристики дробимості та подрібнюваності різних мінеральних різновидів сировини. Проведено аналіз флотацийних та магнітних властивостей різновидів із визначенням оптимальної крупності матеріалу. Розроблено орієнтовні схеми збагачення із переробкою за двома окремими технологічними лініями.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами. Згідно Закону України «Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» передбачено забезпечення потреб національної економіки у мінеральних ресурсах за рахунок власного видобутку, зменшення залежності України від імпорту мінеральних ресурсів та збільшення експортного потенціалу країни за рахунок власного видобутку корисних копалин, що мають великий попит на світовому ринку. Зокрема це стосується тальку та магнезиту. На сьогодні в Україні розвідано значні поклади тальк-магнезитів у 40 км на захід від м. Дніпропетровськ, так зване Правдинське родовище. яке може бути основною промисловою базою вогнетривкої сировини України [1,2]. Аналізуючи якісний склад тальк-магнезитів зазначеного родовища та приймаючи до уваги нормативи на талькову та магнезитову продукцію, можна зробити висновок, що для найбільш ефективного та раціонального використання цього виду сировини у різних галузях промисловості необхідно застосовувати збагачення вихідної руди. Тому розробка технології збагачення тальк-магнезитової сировини Правдинського родовища є доцільною та вмотивованою.

Аналіз досліджень та публікацій. Як показує світова практика, ще 20-25 років тому талькові породи використовувалися тільки в їх природному стані, тобто без попереднього збагачення. Так у 80-х роках ХХ століття ще застосовувалося тільки ручне сортування, а потім сировина піддавалася або тонкому подрібненню (іноді з магнітною сепарацією) для отримання