

И.А. ГАМАЛИНСКИЙ, Б.Т. ДРАГУН, В.Ф. ПЛОТНИКОВ, ГП «ГПИ «Кривбасспроект»  
Т.А. ОЛЕЙНИК, д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ КОМПЛЕКСНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НОСАЧЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Освещен вопрос уменьшения воздействия на окружающую природную среду при комплексном использовании полезного ископаемого.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** В процессе добычи и переработки полезных ископаемых большая часть добытой горной массы (пустые породы, хвосты обогащения) остается неиспользованной. Для ее складирования требуются значительные земельные отводы.

**Анализ исследований и публикаций.** При выполнении «Технико-экономического обоснования кондиций для подсчета запасов апатит-ильменитовых руд Носачевского месторождения» институтом «Кривбасспроект» по технологической схеме обогащения полезного ископаемого была привлечена кафедра обогащения КТУ. Разработанная технологическая схема обогащения полезного ископаемого предусматривает комплексное использование минерального сырья и отходов обогатительного производства в качестве товарной продукции и для закладки выработанного пространства. Получены положительные результаты Государственного научно-исследовательского института минеральных удобрений и пигментов по ильменитовому и апатитовому концентратам. Исследованиями Харьковского политехнического университета установлено, что по своим свойствам отходы обогащения пригодны в качестве интенсификаторов спекания и получения высококачественных керамических изделий и производства зеленого и коричневого стекла, облицовочных и тротуарных плиток, фаянсовых изделий и прочего. ТЭО кондиций для подсчета запасов апатит-ильменитовых руд Носачевского месторождения было успешно защищено в ГКЗ Украины.

**Постановка задачи.** Перед всеми горнодобывающими и перерабатывающими предприятиями актуальной задачей является повышение комплексного использования сырья. При добыче и переработке полезного ископаемого образуются отходы горно-обогатительного производства (порода от проходки горных выработок, хвосты обогащения), которые необходимо складировать. В Технико-экономическом обосновании кондиций для подсчета запасов апатит-ильменитовых руд Носачевского месторождения была поставлена задача выбора оптимальной схемы комплексной переработки руды в товарную продукцию, а также решена задача использования пород от проходки горных выработок.

**Изложение материала и результаты.** Носачевское месторождение апатит-ильменитовых руд расположено в Смелянском районе Черкасской области Украины. Непосредственно над рудной залежью, располагаются магистральная железная дорога, автомагистраль Черкассы - Умань, промышленные сооружения и жилая застройка. Согласно действующим нормам охраны категорийных объектов железная дорога относится к I категории, автомагистраль и промышленно-гражданские сооружения – к III категории охраны.

Месторождение представляет собой две вытянутые залежи пластообразной формы. Контуры залежей в соответствии с кондициями ограничены по бортовому содержанию  $TiO_2$  и  $P_2O_5$  в руде. Падение рудных залежей неодинаковое: залежи № 1 составляет 45-75°, рудной залежи № 2 – 30-50°. Длина по простиранию - до 2000 м, ширина вкрест простирания - от 450 до 1000 м.

Глубина залегания водоносного горизонта в среднем равна 30,0 м. Мощность его - от 5,0 до 18,0 м. Присутствие водоносного горизонта определяет применение спецспособов проходки вертикальных стволов при вскрытии месторождения.

Учитывая горно-геологические условия месторождения (угол падения залежей 45°...75°, глубина разработки ниже 700 м от поверхности земли), необходимость сохранения земной поверхности с имеющимися на ней высококатегорийными объектами и рационального использования недр, для освоения Носачевского месторождения наиболее приемлемым и экономически целесообразным является подземный способ разработки месторождения.

Для разработки месторождения принята камерная система с твердеющей закладкой выработанного пространства, обеспечивающая сохранность земной поверхности и имеющихся на ней объектов. Выбранный вариант системы удовлетворяет требованиям безопасности, интенсивности и экономичности разработки месторождения.

Потолочина оставляется до глубины 140 м по всей площади месторождения, до глубины 240 м – под железной дорогой на полосе шириной 127 м.

Ожидаемые деформации земной поверхности не превышают допустимых значений, установленных для объектов первой категории охраны, в том числе и для железной дороги.

С целью снижения негативного воздействия будущего ГОКа на окружающую среду была выбрана оптимальная схема комплексной переработки руды в товарную продукцию.

Технологический процесс обогащения титановых руд разработан кафедрой обогащения Криворожского технологического университета (КТУ) и включает дробление, измельчение, высокоградиентную магнитную сепарацию (ВГМС), обезвоживание/сушку и электростатическую сепарацию (рис.). Для возможных изменений состава руды и защиты ВГМС, перед высокоградиентной сепарацией включена операция магнитной сепарации с низкой напряженностью магнитного поля (МСНН).

Производительность установки - 2 млн т в год (245 т/ч) для одной секции.

Цикл дробления должен иметь производительность для обеспечения питания двух секций. Расчет основан на производительности 600 т/ч. Сырье должно иметь максимальный кусок в питании 500 мм. Дробилку первой стадии предусмотрено разместить в шахте.

Цикл мокрого измельчения включает стержневую и шаровую мельницу, работающих в закрытом цикле с грохотом по классу 0,2 мм.

Первая стадия сепарации – МСНН, которая извлекает ферромагнитный материал. Тесты показали, что данная руда содержит очень незначительное количество ферромагнитного материала.

Немагнитный продукт МСНН сепарируется в ВГМС, где большая часть магнетита извлекается в магнитный продукт. Около 50% по весу питания попадает в немагнитный продукт и отводится в конечные хвосты. Потеря ильменита составит 3%.

Немагнитный продукт отправляется в сгуститель хвостов для извлечения воды, а пески сгустителя перекачиваются в хвостохранилище.

Магнитный продукт сгущается в сгустителе, и пески сгустителя обезвоживаются далее в top-feed фильтре. Слив сгустителя и фильтрат рециркулируются в технической воде.

Фильтрокок после термосушки направляется на электростатическую сепарацию.

Электростатическая сепарация выполняется в трехстадиальной конфигурации с производством конечного концентрата, хвостов и промпродукта, который направляется в цикл измельчения.

По данным КТУ, технологические свойства руды обеспечивают возможность получения двух основных видов товарной продукции (ильменитового и апатитового концентратов), а также попутной продукции из отходов обогащения (плаггиоклазового и оливин-пироксенового продуктов).

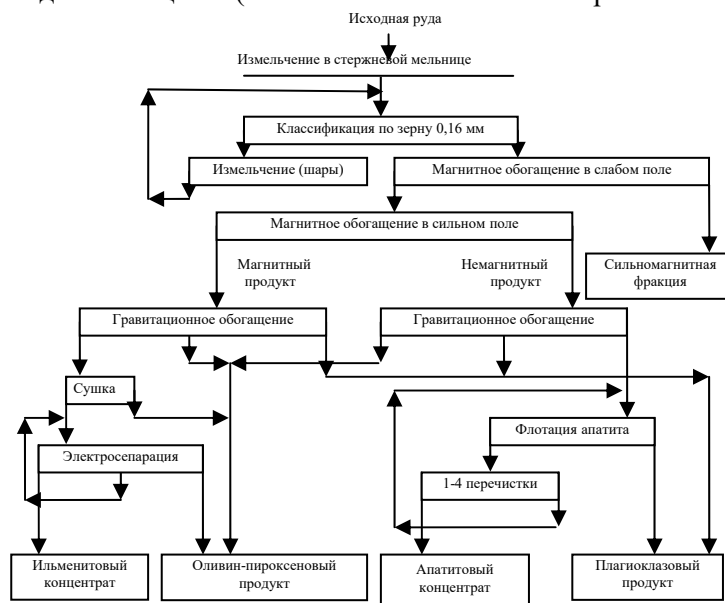


Рис. 1. Принципиальная схема обогащения

По заключению Государственного научно-исследовательского института минеральных удобрений и пигментов среди разведанных апатит-ильменитовых месторождений Украины особый интерес представляет Носачевское.

Ильменитовые концентраты, получаемые из руд этого месторождения, по своей природе являются уникальным сырьем для производства двуокиси титана сернокислотным способом и в настоящее время по всем показателям могут служить эталоном качества титаносодержащего сырья. Апатитовый концентрат по своему химическому составу превосходит концентраты всех аналогичных месторождений Украины и России (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав апатитового концентрата Носачевского месторождения и его аналогов

Компоненты, %	Содержание компонентов в образцах фосфорного сырья месторождений аналогов			
	Носачевское	Федоровское	Хибинское	Ковдорское
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ.	39,6	39,1	39,0	29,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> вчв.	5,3	5,1	4,4	–
CaO	52,2	52,1	51,7	48,6
SO <sub>3</sub>	0,21	–	–	2,5
CO <sub>2</sub>	0,65	0,94	0,3	7,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,6	1,8	0,6	0,29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,9	0,06	0,5	0,24
MgO <sub>2</sub>	0,7	0,47	0,18	1,27
Cl	0,03	0,03	0,03	
Cu, мг/кг	70,0	94,0	15,0	
Zn, мг/кг	30,0	110,0	25,0	
H <sub>2</sub> O, %	0,2	0,1	0,2	1,2
As, мг/кг	0,2	0,6	3,0	7,6
Cd, мг/кг	<1,0	<1,0	<1,0	15,7
Pb, мг/кг	<5,0	7,8	<1,8	3,1
Удельная эффективная активность ЕНР, Бк/кг	143,0	157,0	1300,0	1600,0

Для более полного изучения продуктов, получаемых в процессе обогащения, в Харьковском политехническом университете были проведены дополнительные исследования. При этом было установлено, что по своим свойствам отходы обогащения пригодны в качестве интенсификаторов спекания и получения высококачественных керамических изделий и производства зеленого и коричневого стекла, облицовочных и тротуарных плиток, фаянсовых изделий и пр.

Выполненные маркетинговые исследования по рынку сбыта товарной продукции показали, что основные продукты обогащения (ильменитовый и апатитовый концентраты) реализуются полностью, а попутные – только на 50% от объемов добычи. Поэтому оставшийся оливин-пироксеновый и частично плагиоклазовый продукты, а также порода от проходки горных выработок были использованы в качестве материала для приготовления закладочной смеси.

При расчете технико-экономических показателей капитальные инвестиции и эксплуатационные расходы определены по производственным процессам (переделам): добыче руды, в том числе закладке выработанного пространства; обогащению, включая подготовку к реализации продукции из хвостов обогащения (сушку, складирование и погрузку). Капитальные инвестиции в горный цех и амортизационные отчисления определены до конца отработки месторождения.

В связи с пригодностью плагиоклазового продукта для использования в качестве интенсификатора спекания и получения высококачественных керамических изделий и стекла предусмотрены дополнительные средства на сушку продуктов до влажности 1,0%, складирование и отгрузку продукции потребителям.

В результате динамической оценки экономической эффективности вовлечения в переработку апатит-ильменитовых руд Носачевского месторождения на период от начала строительства до конца отработки запасов установлены положительные показатели. Рентабельность затрат по чистому денежному потоку ожидается на уровне 55%, внутренняя ставка прибыльности превысила действовавшую во время оценки месторождения и современную учетную ставку НБУ, достигнув более 9%; срок окупаемости капитальных инвестиций с учетом периода строительства оценивается в 13 лет.

Особенностью оцениваемого месторождения, которая обуславливает получение приемлемых финансовых результатов является реализация возможности использования части попутных продук-

тов обогащения и получения за их счет дополнительного прироста стоимости товарной продукции. Этот прирост существенно улучшает соотношение капитальных инвестиций к стоимости товарной продукции – с 1:6,3...7,3 до 1:3,7...3,95 и обеспечивает достижение всех положительных параметров кондиций оцениваемого минерального сырья.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** В результате проведенной работы решена задача наиболее полного комплексного и экономически целесообразного извлечения имеющихся в руде ценных компонентов, на основе использования существующих прогрессивных технологий переработки минерального сырья при условии соблюдения требований охраны недр и окружающей природной среды.

Руда Носачевского месторождения содержит два основных полезных компонента, определяющих их экономическую ценность: диоксид титана и пентаксид фосфора. Попутно получаемая продукция – плагиоклазовый продукт. Оливин-пироксеновый и частично плагиоклазовый продукты, а также порода от проходки горных выработок были использованы в качестве материала для приготовления закладочной смеси. Это минимизировало воздействие будущего ГОКа на окружающую природную среду, а именно:

сохранена дневная поверхность над месторождением и имеющиеся на ней объекты;

не изымается земля под отвалы пород от проходки горных выработок;

емкость хвостохранилища, которое используется в качестве буферной емкости оборотной воды, минимизирована и составляет 50 га против 600 га, необходимых для укладки всех хвостов обогащения.

Исходя из опыта проектирования Носачевского ГОКа при оценке новых месторождений требуется более детальное изучение извлеченной из недр горной массы с целью комплексного и экономически целесообразного ее использования.

Рукопись поступила в редакцию

УДК 622.271.45

Н.В. КОРЧАГИН, ГП «ГПИ «Кривбасспроект»,

Ю.М. НИКОЛАШИН, д-р техн. наук, проф.,

Ю.В. ПЕРЕГУДОВ, аспирант, ГВУЗ «Криворожский национальный университет «

## **ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ВНЕШНЕГО ОТВАЛА ПРИ СКЛАДИРОВАНИИ МЯГКИХ И СКАЛЬНЫХ ПОРОД НА СЛАБОЕ ОСНОВАНИЕ**

Выполнен анализ влияния на устойчивость отвала, формируемого на слабом обводненном основании, состава смешанных мягких и скальных пород.

**отвал, основание, смешанные породы, устойчивость, оползни, свойства, расчет, рекомендации**

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Формирование внешних отвалов на площадях в несколько км<sup>2</sup> охватывает территории с различными инженерно-геологическими условиями. Наиболее неблагоприятными из них являются участки пойменных отложений обводненных песчано-глинистых пород, обладающих низкой несущей способностью. Нарушение устойчивости отвалов на слабом основании иногда приводит к катастрофическим оползням с выпором основания.

Этому может способствовать нерегулируемое складирование вскрышных пород, в составе которых в значительном объеме присутствуют «неустойчивые» (мягкие) породы, поступающие из карьера на различных этапах его развития.

Многоярусный отвал № 2 ПАО «ИнГОК», расположенный на площади более 6 км<sup>2</sup>, в настоящее время развивается в сторону водоохранной зоны р. Ингулец. Конечные контуры отвала будут отсыпаны после 2027 г.

Проектная высота отвала – 180 м, углы наклона бортов – 14°5. В тело отвала укладывают сланцевые (скальные) и песчано-глинистые (мягкие) породы и породы коры выветривания, в т.ч. до глинистого состояния. Кроме этого, на площади отвала отдельно складировуют окисленные кварциты.