

УДК 622.7.05:622.271

**М.С. Четверик, Е.В. Бабий, А.П. Левицкий**

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕДОБОГАЩЕНИЯ В КАРЬЕРАХ КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ДОБЫЧИ МАГНИТНЫХ И ОКИСЛЕННЫХ РУД**

*Изложены основные положения технологии предобогащения руды в карьере, которые позволяют увеличить объем выпуска концентрата при переработке магнитных и окисленных руд. Приведены важнейшие научно-технические разработки позволяющие сформировать технологические комплексы.*

*Ключевые слова: карьер, добыча, предобогащение руды, месторождение, минерально-сырьевая база.*

---

**К**риворожский бассейн — богатейшее месторождение железных руд Украины, при разработке которого получают высококачественные концентраты и окатыши. Однако запасы богатых руд, расположенных в верхних горизонтах, истощены и в разработку вовлекаются более бедные руды, которые необходимо предварительно подвергать обогащению. Этот процесс существенно удорожает стоимость конечной продукции. Поэтому одной из основных проблем развития и освоения минерально-сырьевой базы железных руд Кривбасса является создание экономически конкурентоспособных схем добычи и обогащения для получения ликвидных товарных продуктов высокого качества.

Предварительные расчеты [1] показывают, что большинство рудных месторождений по многим видам полезного ископаемого могут перейти в категорию забалансовых, так как, учитывая мировые цены на конечную продукцию, их разработка с применением традиционных технологий окажется нерентабельной.

Переоценка месторождений с учетом вышесказанного фактора показала, что в категорию забалансовых перейдут в первую очередь окисленные и слабомагнитные кварциты, а также железистые кварциты на больших глубинах. Следовательно, в настоящий момент выявился ряд несоответствий состояния минерально-сырьевой базы. С одной стороны для удовлетворения потребности страны необходимо вовлекать все большие объемы полезного ископаемого (в т.ч. труднообогатимое минеральное сырье). С другой стороны состояние техники, технологии и организация первичной переработки минерального сырья требуют кардинальных преобразований.

### **Современное состояние технологии добычи руд на глубоких карьерах**

При разработке крутопадающих месторождений горные работы понижаются по залежи для добычи руды и поэтому рудные уступы располагаются на глубоких горизонтах. Площадь рудной залежи с глубиной уменьшает-

ся, что требует повышения скорости углубки.

Согласно теории разработки глубоких карьеров [2, 3] для добычи руды разрабатывалась и применяется циклично-поточная технология горных работ [4, 5], а транспортирование вскрышных пород, в том числе окисленных кварцитов, предусматривалось осуществлять железнодорожным транспортом с вводом его на глубокие горизонты путем применения повышенных уклонов железнодорожных путей [6].

1.1. Добыча неокисленных кварцитов.

Для добычи руды на глубоких горизонтах карьеров Кривбасса применяют циклично-поточную технологию горных работ, где при переходе к очередной схеме вскрытия в соответствии с понижением горных работ на нижних горизонтах создают перегрузочные пункты. Разработка и внедрение циклично-поточной технологии на карьерах Кривбасса осуществлялась по двум направлениям, отличающимся схемами вскрытия:

- вскрытие горизонтов карьера наклонным стволом и квершлагом с расположением на борту стационарного перегрузочного пункта с конусной дробилкой (карьер ИнГОКа);
- вскрытие горизонтов крутой траншеей с открытым расположением конвейерного подъемника и перегрузочного пункта на временно нерабочем борту (карьер НКГОКа) [7].

Требование формирования постоянных бортов под открытые наклонные конвейеры для расположения крутой траншеи с большой протяженностью фронта и их отсутствие привели к ложному направлению вскрытия горизонтов, якобы обеспечивающему стационарность установки конвейеров и перегрузочных пунктов. А

именно – вскрытию горизонтов наклонными стволами и квершлагами. Однако, при развитии горных работ, особенно при переходе к последующей очереди отработки месторождения, и эти выработки попадают в выработанное пространство или приводят к консервации запасов полезного ископаемого. В то же время применение таких схем вскрытия привело к удорожанию циклично-поточной технологии. Большие затраты на сооружение подземных стволов, камер и др. снизили конкурентоспособность данной технологии.

Опыт эксплуатации показал, что при одинаковой высоте подъема конвейерными подъемниками и автотранспортом себестоимость транспортирования горной массы по циклично-поточной технологии с расположением конвейеров в крутой траншее на карьере НКГОКа составила на 30 % меньше, чем при расположении конвейеров в стволе на карьере ИнГОКа [5].

#### **Добыча окисленных кварцитов**

Следует остановиться еще на одной проблеме. Развитие горных работ на карьерах Кривбасса достигло уровня, при котором значительная часть вскрышной рабочей зоны представлена окисленными кварцитами, которые теоретически являются потенциальным полезным ископаемым, но на сегодняшний день только на некоторых комбинатах установлены отдельные секции по производству концентрата из этих руд.

Процесс внедрения в производство обогащения гематитовых руд происходил на обогатительных фабриках по нескольким технологиям. Первоначально использовалась трудоемкая ручная рудоразборка с целью выделения наиболее богатых мармитовых руд. Следующим этапом было внедрение гранулометрического метода,

который основан на использовании разной крепости богатых гематитовых руд (2—8 баллов по шкале М.М. Протодьяконова), нерудных примесей (7-15 баллов) и железистых кварцитов (15-22 баллов), позволивший разделять рудную и нерудную составляющие. Получаемая товарная продукция по этой технологии своим качеством не соответствует современным рыночным требованиям и поэтому ее можно рассматривать как недостаточно эффективную.

В 1962-1989 гг. в промышленных масштабах для обогащения была использована технология проф. В.И. Кармазина с обжиг-магнитным восстановлением окисленных руд, в основе которой было использовано физическое свойство гематитовых кварцитов, что при нагревании руды восстанавливается ее магнитность. Т.е. перед обогащением руда предварительно поддавалась обжигу с использованием твердого топлива (Центральный ГОКом переработано 180 млн.т. окисленных руд и получено 82 млн.т. концентрата). Однако и эта технология не получила своего дальнейшего распространения по ряду причин. Во-первых, качество концентрата не соответствовало проектным величинам; во-вторых, процесс обжига с экологической точки зрения давал негативные последствия на окружающую среду (ежегодно выбрасывались тонны пыли, оксида углерода и др.); в-третьих, технология очень энергоемкая.

Несколько позже исследовались и внедрялись в отдельные секции производства флотационная и магнитно-флотационная технологии обогащения с использованием электромагнитных сепараторов с высокой интенсивностью магнитного поля. Эти исследования положены в основу при проектировании и строительстве Кри-

ворожского горно-обогатительного комбината окисленных руд (КГОКОР). Однако качество получаемой продукции по этой технологии зависит от качества исходного сырья, что ставит вопрос о предварительном его обогащении.

#### **Основные теоретические предпосылки создания технологии предобогащения руды в карьере**

Современная добыча и переработка железных руд сопровождается постоянным ростом себестоимости конечной продукции. Главными причинами постоянно растущих затрат на транспорт и переработку являются следующие факторы:

а) увеличение вместимости ковшей экскаваторов (с 5 м<sup>3</sup> до 10-12 м<sup>3</sup>) не позволяет производить селективную выемку руд; увеличивается их разубоживание;

б) низкое качество естественного минерального сырья;

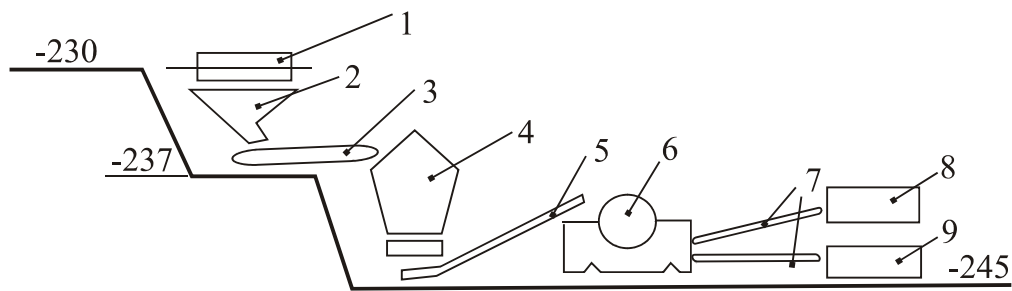
в) существенное разубоживание и без того бедных руд на отдельных участках путем включения в запасы нерудных пород;

г) при производстве взрывных работ происходит смешивание рудных и нерудных прослоев;

д) увеличение объемов переработки, обусловленное вовлечением в добычу все более бедных руд.

Основными направлениями снижения энергозатрат при производстве концентратов является предобогащение. Его применение в виде сухой магнитной сепарации при переработке неокисленных железистых кварцитов позволяет увеличить производство концентрата на 12-17 %, снизив расход руды на 1 т концентрата с 2,628 до 2,473 т [8].

Несмотря на высокую экономическую эффективность предобогащения непосредственно на обогатительных фабриках, особенно в связи с умень-



**Рис. 1. Технологическая схема дробильно-обогащительного перегрузочного пункта**

шением энергозатрат на измельчение и увеличением производства концентрата при тех же мощностях, она является недостаточной. Это обусловлено следующим:

а) избирательным предобогащением руд, что не всегда можно осуществить при слиянии потоков нескольких типов руд после дробления;

б) большими затратами на транспорт руды в карьере и от карьера до обогащательной фабрики;

в) большими затратами на транспорт и складирование отходов предобогащения.

#### **Технология предобогащения руды в карьере**

В этой связи возникла необходимость в разработке новой технологии – технологии предобогащения руды в карьерах (ТПРК) [9,10]. Сущность этой технологии заключается в том, что предобогащение руды осуществляют в карьере, а отходы предобогащения размещают в выработанном пространстве карьера или складировуют совместно со вскрышными породами.

Для использования такой технологии наиболее благоприятны условия, если в карьере уже применяется циклично-поточная технология (ЦПТ), так как имеется оборудование для крупного механического дробления и конвейерный транспорт. В Кривбассе ЦПТ применяется на Первомайском

карьере СевГОКа, карьере № 1 ЦГОКа, карьерах № 3 и 2-бис НКГОКа, карьерах ЮГОКа и ИнГОКа. Для осуществления технологии предобогащения необходимо ввести в технологическую схему еще два дополнительных производственных процесса: среднее дробление горной массы и сухую магнитную сепарацию. Упрощенная технологическая схема представлена на рис. 1.

Технологическая схема дробильно-обогащительного перегрузочного пункта руды в карьере включает в себя кроме дробилки крупного дробления (см. рис. 1) дробилку среднего дробления 4, сепараторы сухого магнитного обогащения 6, передаточные конвейеры 5,7, питатели 1,3 и бункеры 2,8,9. В зависимости от горнотехнических условий карьера в т.ч. параметров рабочих площадок, качества дробления горной массы взрывом может быть подобрано соответствующее оборудование.

При ТПРК изменяются такие параметры:

а) повышается производительность обогащательных фабрик по концентрату за счет переработки более качественного исходного сырья; изменяется производственная мощность карьера;

б) снижаются объемы отходов обогащения;

в) уменьшение объемов транспортирования руды из карьера на поверхность и до обогатительной фабрики;

г) снижается объем энергопотребления, поскольку расходы энергии на дробление и сухую магнитную сепарацию в карьере меньше, чем на измельчение не предобогащенной руды на обогатительной фабрике;

д) увеличиваются объемы транспортирования и складирования вскрышных пород.

ТПРК является одним из главных направлений по снижению расхода электроэнергии на производство концентрата. Так, на добычу руды в карьере расходуется в среднем 7,4 кВт·ч/т [11]. При применении ЦПТ и крупного механического дробления в карьере – 8,5 кВт·ч/т; на среднее и мелкое дробление на дробильной фабрике – 2,5 кВт·ч/т; магнитную сепарацию около 0,8-1,0 кВт·ч/т. В то же время на остальные стадии обогащения (особенно большой удельный вес занимает измельчение и перекачка хвостов) расходуется 42 кВт·ч/т.

#### **Важнейшие научно-технические разработки, позволяющие создать ТПРК**

Основой для создания ТПРК служат такие разработки:

а) создание и внедрение на карьерах Кривбасса циклично-поточной технологии горных работ (разработки ИГТМ НАН Украины, НГУ совместно с проектными институтами Кривбасс-проект, Укргипроруда и др.);

б) разработка оборудования по дроблению горных пород с меньшими энергозатратами и большим сокращением между исходным и дробленным кусками руды (ЗАО «Новые технологии» дробилка «Титан Д», НПА «Урал-Центр», Metso Minerals «Вармас» и др.);

в) создание электромагнитных сепараторов для предобогащения сла-

бомагнитных и магнитных руд (НПФ «Эрга» г. Калуга, ООО «НТЦ магнитной сепарации МАГИИС Лтд»);

г) разработаны комплексы для сухого магнитного обогащения окисленных руд (ЧМП НПФ «Продэкология» [12] г. Ровно);

д) создание передвижных технологических комплексов для обогащения сырья (НПП «Укрэкология», ИГТМ НАНУ).

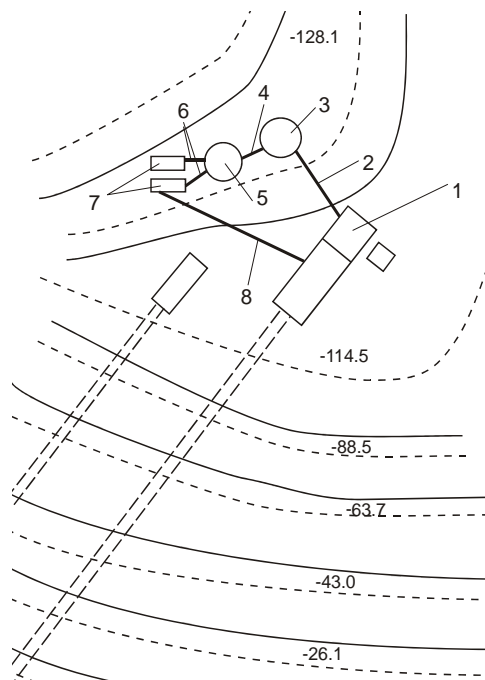
#### **Технологические схемы**

5.1. Предобогащение магнитных руд  
ТПРК эффективно применять при значительном удалении карьера от обогатительной фабрики. Так, например, Артемовский карьер ЦГОКа находится на расстоянии 65 км от обогатительной фабрики. Глубина его интенсивно увеличивается, что не позволяет экономично поддерживать объем добычи на достигнутом уровне. Бортовое содержание магнитного железа по Артемовскому месторождению принято 14 %. Во вскрышные породы вовлекается часть магнетитосиликатных и силикатно-магнетитовых кварцитов с прослоями пустых пород. Руды имеют слоистую текстуру и могут обогащаться с применением сухой магнитной сепарации. Экономичное вовлечение в переработку малорудных пород позволяет уменьшить объемы вскрышных работ. Технологическая схема рекомендуется следующая. Вскрытие горизонтов осуществлять крутой траншеей с расположением внутри карьера дробильного перегрузочного пункта, оборудованного конусной дробилкой. Перегрузочный пункт на поверхности оборудовать дробилками среднего дробления и сепараторами для сухой магнитной сепарации. Экономическая эффективность такой технологии составляет свыше 6 млн. грн. При этом не учтено снижение затрат по обогатительной фабрике, а также экономическая

эффективность за счет производства щебня.

На Первомайском карьере СевГОКа внутрикарьерный дробильно-перегрузочный пункт расположен на горизонте -115 м. Технологическая схема предобогащения предусматривает использование для доставки магнитных и разубоженных руд к корпусу крупного дробления существующий автомобильный транспорт. Оборудование технологической цепочки может быть расположено: а) поуступно на горизонтах -115, -130, -145 м, что позволяет избежать использование крутонаклонных передаточных конвейеров; или б) в районе дробильно-перегрузочного пункта на горизонте -128 м (рис. 2). Вывоз предконцентрата осуществлять конвейерным транспортом, а отходы обогашения за неимением внутреннего отвалообразования вывозить автомобильно-железнодорожным транспортом совместно со вскрышными породами. На земной поверхности предусматривается предобогащенную руду поставлять железнодорожным транспортом на обогатительную фабрику.

Технологическая схема предобогащения состоит в следующем (см. рис. 2). Из забоя железная руда доставляется автомобильным транспортом, поступает на существующую дробилку крупного дробления 1. Дробленая руда крупностью не более 300 мм конвейером 2 подается в дробилку среднего дробления 3. Затем передаточным конвейером 4 руда крупностью не более 70 мм подается на комплекс сепараторов для сухого магнитного обогашения 5. Предобогащенная руда и отходы крутонаклонными конвейерами 6 подаются в соответствующие бункера 7. Отгрузка предконцентрата производится на наклонный ленточный конвейер 8, который передает руду на конвейер ЦПТ.



**Рис. 2. Технологическая схема предобогащения**

#### 5.2. Предобогащение окисленных руд

Проблема добычи и переработки окисленных кварцитов становится все более актуальной, но постепенно решаемой. Применяется комплекс по обогашению окисленных руд на отвале шахты «Октябрьская»; предусматривается создание отдельного комплекса на обогатительной фабрике Ингулецкого ГОКа; заканчивается строительство ГОКОР. Устанавливается на ряде фабрик оборудование для мокрого магнитного обогашения окисленных руд. Однако для получения хороших результатов необходимо исходное сырье очистить от пустых пород. Для этого целесообразно применение технологии предобогащения руды в карьере, что позволит отходы оставлять во внутреннем отвале и уменьшить затраты на транспортирование горной массы.

Так, например, дальность транспортирования окисленных руд с ИнГОКа, ЮГОКа и др. комбинатов до обогатительной фабрики ГОКОР составляет свыше 60 км. Поэтому предобогащение горной массы в карьерах позволило бы улучшить качество подаваемой на ОФ, снизить затраты на транспорт и в целом повысить производительность ОФ по концентрату.

### **Выводы**

Экономическая эффективность добычи и переработки бедных руд (неокисленных и окисленных кварцитов) может быть повышена путем их

предобогащения непосредственно в процессе добычи в карьере.

Технологию предобогащения руды в карьере целесообразно применить при разработке окисленных кварцитов. С одной стороны это необходимо для обеспечения эффективной работы действующих карьеров, поскольку окисленные кварциты расположены на верхних горизонтах и при добыче их необходимо складировать в отдельных отвалах, площади под которые отсутствуют. С другой – обеспечение качественной рудой как ГОКОР, так и действующие обогатительные фабрики.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Чантурия В.А. Перспективы устойчивого развития горно-перерабатывающей индустрии России // Горный журнал, 2007. — № 2. — С. 2-9.
2. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Часть 1. Производственные процессы: Учебник для вузов 4-е изд. перераб. и дополн. — М.: Недра, 1985. — 509 с.
3. Новожилов М.Г., Дриженко А.Ю., Маевский А.М. и др. Высокопроизводительные глубокие карьеры. — М.: Недра, 1984. — 187 с.
4. Тартаковский Б.Н., Вишняков В.С., Гаврилюк И.И., Четверик М.С., Панчошный Н.М., Киковка Е.И. Циклично-поточная технология добычи руды на карьерах Кривбасса. — К.: Техника, 1978. — 175 с.
5. Четверик М.С. Вскрытие горизонтов глубоких карьеров при комбинированном транспорте. — К.: Наукова думка, 1986. — 186 с.
6. Яковлев В.Л., Фесенко С.Л. Транспорт глубоких горизонтов // Горный журнал, 1998. — № 12. — С. 24-27.
7. Разработка, создание и внедрение циклично-поточной технологии на опытно-промышленном участке карьера НКГОК // Б.Н. Тартаковский, М.Ф. Друкованный, Н.С. Поляков, Э.И. Ефремов, М.С. Четверик и др. — К.: Наукова думка, 1975. — 37 с.
8. Кретов С.И., Губин С.Л., Потапов С.А. Совершенствование технологии переработки руд Михайловского месторождения // Горный журнал, 2006. — № 7. — С. 71-75.
9. Четверик М.С., Бабий Е.В. Технология предобогащения в карьерах как перспективное направление добычи бедных руд // Материалы международной конференции «Форум горняка – 2007». — Д.: Национальный горный университет, 2007. — С. 246-253.
10. Четверик М.С., Бабий Е.В., Икол А.А. Формирование комплексов при технологии предобогащения руды в карьерах // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2007. — № 3. — С. 91-93.
11. Дремин А.А. Стратегия энергосбережения при добыче и переработке железных руд // Горный журнал, 2006. — № 12. — С. 45-47.
12. Артошов Р.Т., Нитяговский В.В., Евтехов Е.В., Лозин А.А., Евтехов В.Д. Комплекс для сухого магнитного обогащения гематитовых кварцитов // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск, 2007. — вып. 72. — С. 32-39. **ГИАВ**

### **Коротко об авторах**

Четверик М.С. — доктор технических наук, профессор Института геотехнической механики НАН Украины, г. Днепропетровск;  
Бабий Е.В. — кандидат технических наук, Институт геотехнической механики НАН Украины, г. Днепропетровск;  
Левицкий А.П. — главный инженер ОАО «СевГок», г. Кривой Рог, Украина.