

**Т.А. ОЛЕЙНИК**, д-р техн. наук,  
**Л.В. СКЛЯР, Н.В. КУШНИРУК**, кандидаты техн. наук,  
**М.О. ОЛЕЙНИК, Ф.Г. ТАТАРИНОВ**  
(Украина, Кривой Рог, Государственное ВУЗ "Криворожский национальный университет")

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ФЛОТАЦИОННОЙ ДОВОДКИ НЕКОНДИЦИОННЫХ ГЕМАТИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ**

### *Проблема и ее связь с научными и практическими задачами*

Подтвержденными запасами железной руды, превышающими 2 млрд т владеют 10 стран мира: Россия, Украина, Австралия, США, Канада, Бразилия, Китай, Казахстан, Индия, Швеция. Их суммарная доля в мировых подтвержденных запасах составляет 72% (113 млрд т).

Более 71% подтвержденных запасов связано с метаморфогенными месторождениями магнетит-гематитовых руд в докембрийских железистых кварцитах и метаморфических сланцах.

В Украине разведано 53 месторождения железных руд, из них разрабатываются 29. Основная часть запасов сосредоточена в пределах Криворожского железорудного бассейна. По содержанию железа они разделены на: бедные руды, которые имеют менее 40% железа, руды со средним содержанием от 40% до 50% железа и богатые руды с содержанием железа от 50% и более. Кроме того на сегодняшний день по разным критериям подсчетов в отвалах горно-обогатительных комбинатов Кривбасса за складировано от 1,3 до 1,5 млрд т окисленных железистых кварцитов, которые можно и нужно перерабатывать, так как данный тип сырья является альтернативным для производства исходной продукции для передела металлургии, а выделение новых земель под складирование этих отходов весьма дорогостоящее [1].

Гематитовые кварциты Криворожского железорудного бассейна по размеру рудной вкрапленности, согласно классификации [2], относятся к тонковкрапленным, весьма тонковкрапленным и дисперсновкрапленным рудам и являются труднообогатимым сырьем. Для более полного раскрытия рудных зерен в технологии обогащения гематитовых кварцитов необходимо предусматривать весьма тонкое измельчение (до 90-99% класса минус 0,044 мм, а иногда и 0,020 мм), при котором неизбежно образование тонкого материала (класса минус 0,010 мм образуется не менее 25%), который теряется с хвостами при гравитационной и магнитной сепарации этого сырья. Из-за трудности извлечения тонкого гематита гравитационными и магнитными методами, применение флотации для получения высококачественного товарного продукта с высоким извлечением железа объективно обосновано. При этом разработка рационального реагентного режима флотационного разделения тонкоизмельченных минеральных зерен является актуальной научно-практической задачей.

## **Флотация**

---

### *Анализ исследований и публикаций*

Значительный вклад в решение задач по переработке окисленных железных руд внесли В.И. Кармазин, Г.В. Губин, И.П. Богданова, В.А. Арсентьев, Л.А. Ломовцев, В.М. Малый, Л.Ф. Суббота, В.В. Кармазин, Г.Н. Косой, С.Ф. Шинкоренко, А.М. Туркенич, Р.С. Улубабов, З.Д. Ройзен, Р.М. Кошелевский, Т.Б. Ганзенко, З.П. Армашова, Л.Н. Лисянский, В.В. Дементьев и др. Флотационной доводкой гематитовых концентратов активно занимались Н.П. Титков, Л.П. Скородумова, Е.Ф. Ветрова, И.А. Долотова, Н.Е. Вовк, Х.У. Ковальчук, Н.Г. Магарь, В.П. Соколова, А.В. Габура.

Анализ практики флотационного обогащения гематитовых руд показал, что за рубежом распространение получили прямая (удаление железосодержащих минералов в пенный продукт) и обратная (удаление пустой породы в пенный продукт) флотации.

Прямая флотация применяется в схемах обогащения бедной средне – и тонковкрапленной гематитовой руды как основная операция при крупности измельчения руды 90% класса минус 0,074 мм.

При использовании прямой флотации могут быть получены концентраты, с массовой долей железа около 64% при извлечении 79-80%. Отрицательным фактором при прямой флотации тонковкрапленных руд является наличие тонкодисперсных частиц. Для получения высоких показателей разделения при прямой флотации гематита необходима предварительная дешламация исходных продуктов по классу минус 10(20) мкм или флокуляция с использованием крахмала. Проблему повышения качественных показателей разделения можно решить также за счет совершенствования реагентных режимов [3].

Обратная флотация, как самостоятельная операция, применяется за рубежом при обогащении богатых руд или в комбинированных схемах для доводки концентратов гравитационного и магнитного обогащения. В настоящее время в промышленном масштабе флотацию исходной руды применяют только на фабрике Тилден (США) для переработки тонковкрапленных полосчатых гематит-мартитовых руд, подобных дисперсно-крупным гематитовым кварцитам Криворожского бассейна. Для обогащения руды используется обратная катионная флотация с предварительной селективной флокуляцией. Технологическая схема включает самоизмельчение (до крупности 85% класса минус 0,025 мм), селективную флокуляцию рудных минералов, обесшламливание и обратную катионную флотацию. Используются реагенты: амин – собиратель, крахмал – селективный флокулянт и депрессор железорудных минералов, едкий натр – регулятор среды и жидкое стекло – пептизатор шламов при флокуляции. Проектные показатели: массовая доля железа в исходной руде 35,9%; в концентрате 65,6%; в хвостах 17,4%; извлечение железа в концентрат 70,2% [4-6]. Обратная флотация используется также при обогащении богатой руды или как операция доводки для повышения качества концентрата магнитного или гравитационного обогащения.

Что касается гематитовых кварцитов Кривбасса, то основное свое развитие комбинированные схемы обогащения получили, в основном, при разработке и

усовершенствовании магнитно-флотационных схем с применением обратной анионной флотации магнитного промпродукта и магнитного концентрата [3, 7]. По результатам этих работ по магнитно-флотационной схеме (с доводкой магнитного промпродукта прямой анионной флотацией) были рекомендованы для проекта КГОКОР следующие показатели: массовая доля железа в концентрате 63%, выход концентрата 42,9%, извлечение железа в концентрат 73%. Как реагенты использованы: едкий натр, известковое молоко, смесь фракционированных лигносульфонатов с нитролигнином, МСТМ.

Следует отметить, что при флотационном дообогащении магнитных продуктов нельзя одновременно повысить качество концентрата и извлечение железа, то есть дополнение схемы магнитного обогащения флотацией как промпродукта, так и концентрата приводит к снижению извлечения железа в концентрат.

#### *Постановка задачи*

При выполнении работы по усовершенствованию технологии обогащения окисленных руд Кривбасса основной задачей явилась разработка технологии флотационной доводки некондиционных гематитовых концентратов.

#### *Изложение материала и результаты*

Обратная катионная флотация гематита – процесс, при котором в пенный продукт извлекается пустая порода (в основном кварц), в камерный – гематитовый концентрат. При такой флотации гематита обязательное использование селективного флокулянта. Это обусловлено, главным образом, как уже отмечалось выше, достаточно тонкой вкрапленностью минералов, для раскрытия которых требуется тонкое измельчение, что, в свою очередь, определяет необходимость применения селективной флокуляции. Наиболее селективный флокулянт железосодержащих минералов – крахмал, является одновременно и эффективным депрессор. Поэтому, естественно, в этом случае применение обратной флотации с применением аминов. Следует отметить, что использование обратной анионной флотации сопряжено с необходимостью поддержки высоко щелочной среды для эффективного извлечения кварца и отличается сложным реагентным режимом.

При проведении экспериментов использованы следующие реагенты: амин лилафлот Д817 М (80-320 г/т) – собиратель, крахмал (300-500 г/т) – селективный флокулянт и депрессор железорудных минералов, едкий натр (600-1200 г/т) – регулятор среды и хлористый кальций (200-400 г/т) – активатор кремнезема. Время агитации с реагентами составляло по 5 мин, время флотации – около 3 минут.

На технологические исследования были представлены 200 рядовых проб 9 минералогических разновидностей гематитовых кварцитов двух месторождений Скелеватского и Валявкинского. Рядовые пробы в определенных соотношениях составили генеральную пробу для технологических исследований по разработке технологии обогащения окисленных руд КГОКОРа (таблица).

Результаты исследований по флотационному обогащению материала исходных проб минералогических разновидностей окисленных руд Скелеватского и Валявкинского месторождений приведены на рис.1, 2.

## Флотация

Соотношение объединенных разновидностей гематитовых кварцитов Скелеватского и Валявкинского месторождений в составе генеральной пробы

Объединенные минеральные разновидности гематитовых кварцитов		Содержание в составе представительной (генеральной) технологической пробы, мас. %
индексы	Названия	
10	Кварциты мартит-железослюдковые	2,18
20	Кварциты железослюдко-мартитовые	11,40
30	Кварциты железослюдко-мартитовые маршалитизированные	8,36
40	Кварциты мартитовые	27,45
50	Кварциты мартитовые маршалитизированные	24,60
60	Кварциты мартитовые гетитизированные	10,31
70	Кварциты дисперсногематит-мартитовые и мартит-дисперсногематитовые ("суриковые")	6,64
80	Кварциты мартитовые магнетит-содержащие (слабо выветренные)	4,50
90	Сланцы и безрудные кварциты	4,56

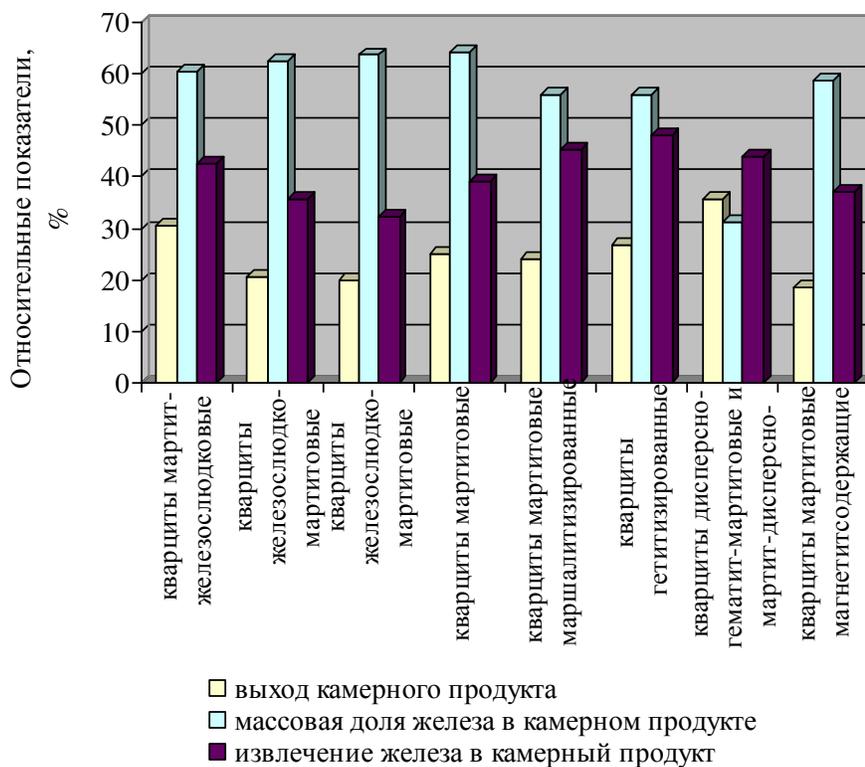


Рис. 1. Технологические показатели камерного продукта флотации разновидностей кварцитов Скелеватского месторождения

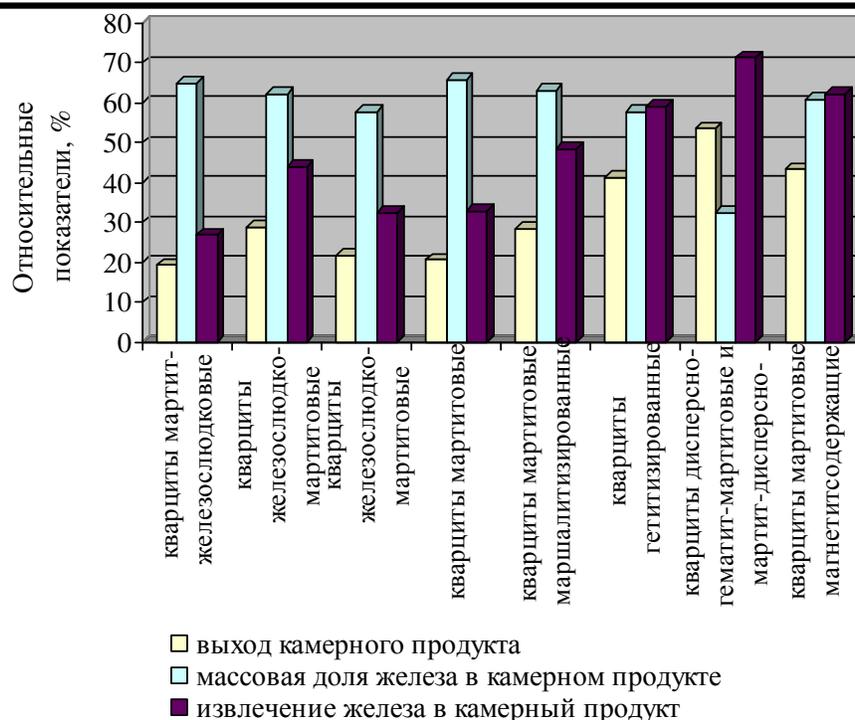


Рис. 2. Технологические показатели камерного продукта флотации разновидностей кварцитов Валявкинского месторождения

Анализ результатов экспериментов показал, что в зависимости от разновидности железистых кварцитов из исходной руды, измельченной до 98 % класса минус 0,044 мм, содержащих 29,24-47,37% железа, могут быть получены концентраты с массовой долей железа 60,36-64,9%. При этом сланцы и безрудные кварциты флотационным методом не обогащаются. Поэтому их необходимо удалять из процесса обогащения.

Для определения оптимального реагентного режима при проведении исследований использовался метод планирования экспериментов – "латинский квадрат". Влияние расхода реагентов на показатели разделения железорудных минералов и кремнезема относительно генеральной пробы приведены на рис. 3, 4.

В результате анализа результатов флотационных исследований был определен оптимальный реагентный режим обратной катионной флотации гематита: едкий натр (5%) – 1000 г/т, хлористый кальций (5%) – 200 г/т, крахмал (5%) – 300 г/т, лилафлот Д817 М – 1% – 260 г/т. Этот режим был положен в основу флотационных исследований материала генеральной пробы.

На этом этапе исследований на флотацию подавался различный исходный материал и изменялись схемы флотационных исследований. Первой схемой предусматривалась флотация магнитного промпродукта высокоградиентной магнитной сепарации исходной руды, измельченного до 98% класса минус 0,045 мм. Вторая схема отличалась от первой узлом доработки пенного продукта основной флотации гематита – предусматривалось его доизмельчение до 95 % класса минус 0,025 мм. В третьей и четвертой схеме подготовки продуктов к флотации предва-

## Флотация

рительно предусматривалась сухая магнитная сепарация исходного материала в крупности 12-0 мм, измельчение магнитного продукта СМС до крупности 60% класса минус 0,074 мм, высокоградиентная сепарация и измельчение магнитного продукта до крупности 98 % класса минус 0,045 мм. Четвертая схема отличалась от третьей узлом доработки пенного продукта, который идентичен второй схеме.

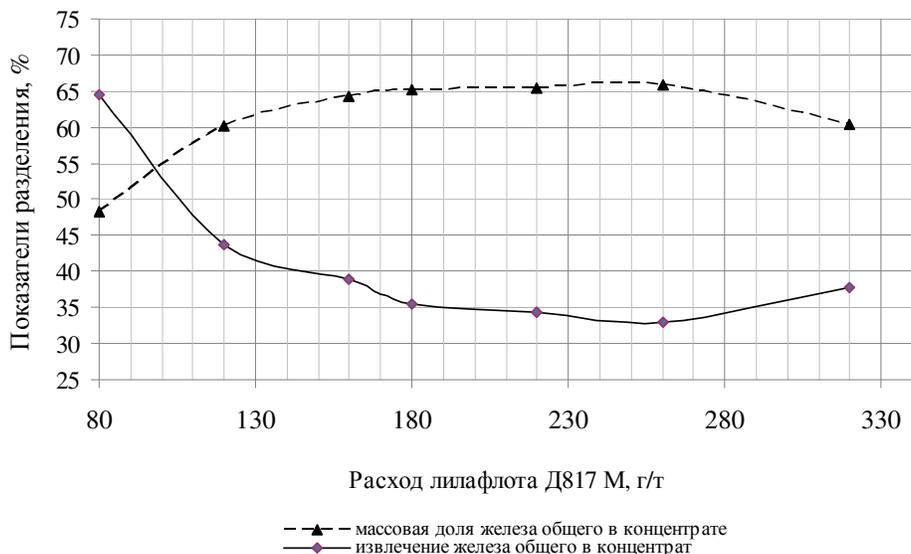


Рис. 3. Влияние расхода собирателя на показатели разделения материала генеральной пробы окисленной руды

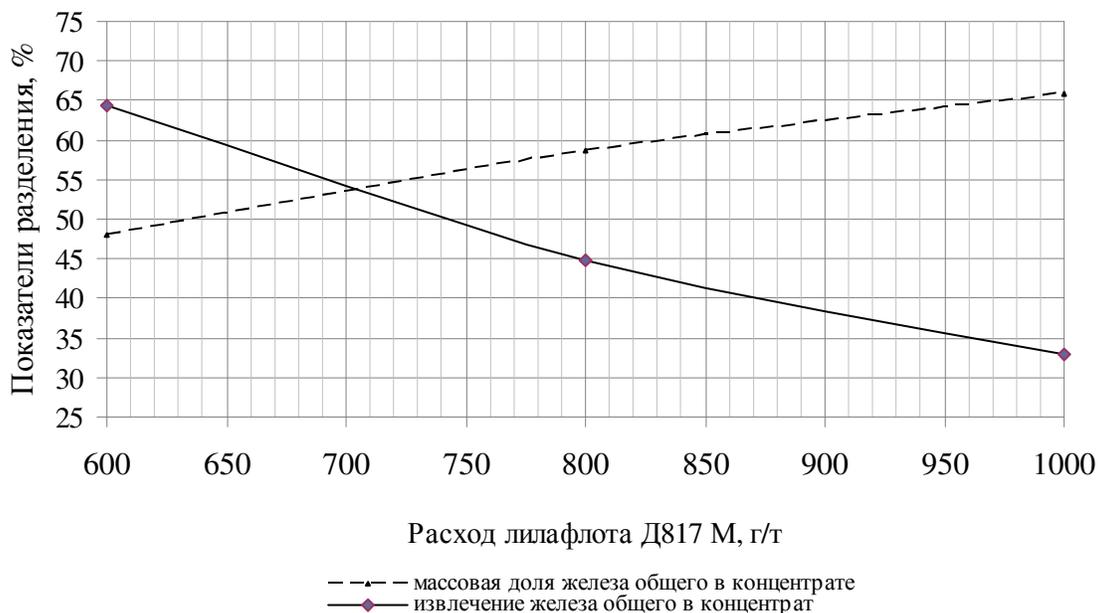


Рис. 4. Влияние расхода едкого натра на показатели разделения материала генеральной пробы окисленной руды

В серии экспериментов проведенных по 5 и 6 схемам в качестве исходного сырья для флотации служил черновой гематитовый концентрат, полученный с

помощью винтовой сепарации и высокоградиентной сепарации, предусмотренных гравитационно-магнитной технологией (рис. 5). Схемы 5 и 6 отличаются между собой узлом доработки пенного продукта основной флотации.

Согласно технологических схем 7 и 8, в качестве исходного материала для флотационной доводки служил черновой гематитовый концентрат, полученный в результате переработки руды по технологии, включающей дробление руды до крупности 5-0 мм, отсадку дробленой руды на отсадочных машинах с подвижным решетом, которая позволяет вывести из процесса 26,36% хвостов – материала, представленного засоряющими и пустыми породами, а также труднообогащаемыми минералами железа – с массовой долей железа общего 20,83%. Далее тяжелый промпродукт отсадки направляется на измельчение до крупности 60% класса минус 0,074 мм с предварительной классификацией по зерну 0,16 мм, магнитную сепарацию измельченной руды в слабом и сильных полях, измельчение магнитного промпродукта ВГМС в шаровых мельницах до крупности 98% класса минус 0,045 мм и его флотационное обогащение в одну или две стадии.

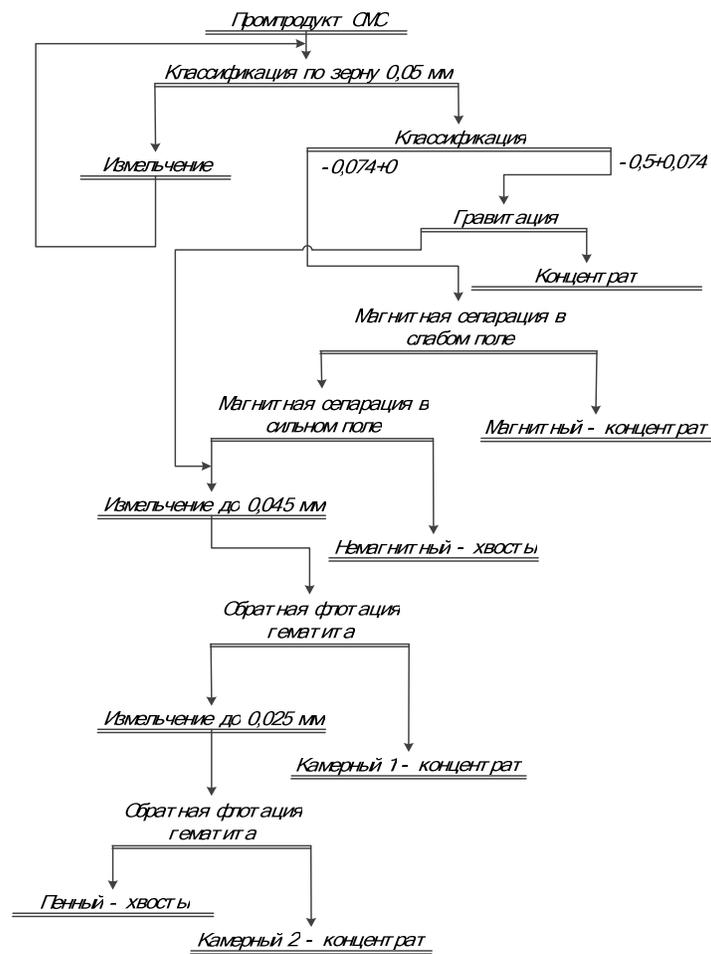


Рис. 5. Технологическая схема 6 получения гематитового концентрата

## Флотация

Установлено, что для получения концентрата высокого качества необходимо пенные продукты флотации измельчать до 95% класса минус 0,025 мм.

Вариант 9 (рис. 6) получения гематитового концентрата предусматривал дробление руды до крупности 10-0 мм, ее измельчение в стержневых мельницах до крупности 80% класса минус 0,074 мм с предварительной классификацией по зерну 0,074 мм, флотационное обогащение измельченной руды в две стадии: I стадия – обратная флотация гематита из измельченной руды с контрольной флотацией камерного продукта и выделением отвальных хвостов, II стадия – пенный продукт контрольной флотации направляется на измельчение в вертикальных мельницах до крупности 0,025 мм и дальнейшую перечистную обратную флотацию гематита. В результате обогащения гематитовой руды с массовой долей железа общего 37,02% по такой схеме в лабораторных условиях был получен гематитовый концентрат с массовой долей железа 64,14%, 36,99% по выходу и извлечением железа в концентрат 64,09%. Массовая доля железа общего в хвостах составила 21,1%.

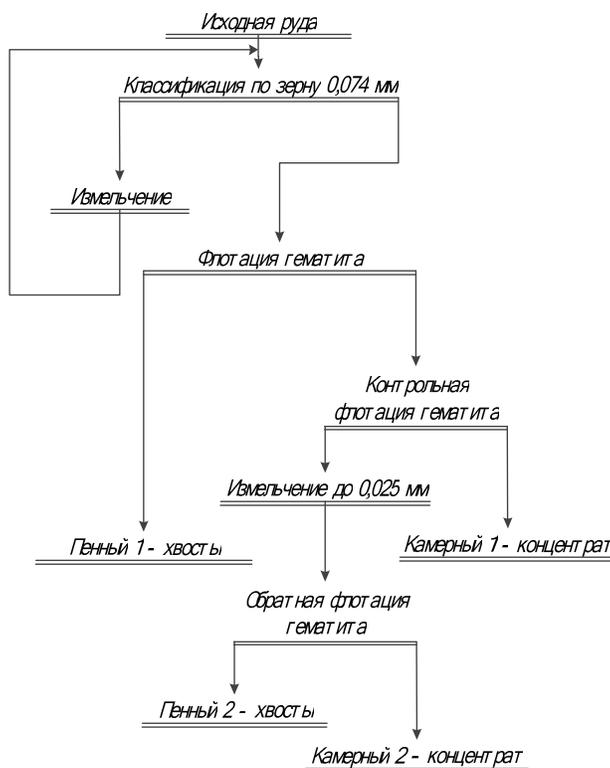


Рис. 6. Технологическая схема 9 получения гематитового концентрата

Результаты флотационных исследований на материале генеральной пробы, подготовленной к флотации по разным схемам приведены на рис 7. Данные рис.7 показывают возможность получения гематитовых концентратов с массовой долей железа свыше 63% независимо от схемы подготовки сырья к флотации.

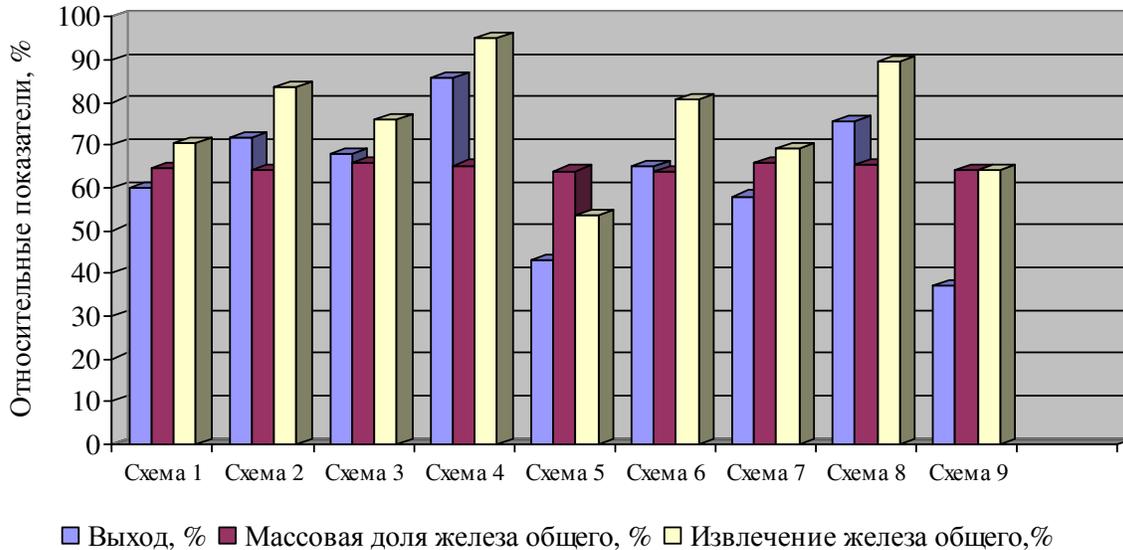


Рис.7. Технологические показатели получения гематитового концентрата

### *Выводы и направления дальнейших исследований*

Результаты флотационных исследований обратной катионной флотации гематита, проведенных на материале генеральной пробы, подготовленной к экспериментам по девяти разным схемам, показывают возможность получения гематитовых концентратов с массовой долей железа свыше 63% независимо от схемы подготовки сырья к флотации.

Лучшие показатели разделения окисленной руды (массовая доля железа общего в концентрате 65,47%, выход концентрата 39,97%, извлечение железа общего в концентрат 70,68 %) получены при обогащении руды по комбинированной технологии, с использованием: отсадки в качестве операции предобогащения, мокрой магнитной сепарации в слабом и сильном полях и флотационной доводки магнитного промпродукта в две стадии.

Окончательные выводы, касающиеся режимов флотационной доводки некондиционных гематитовых концентратов, могут быть сделаны только после проведения испытаний в полупромышленных и промышленных условиях.

### **Список литературы**

1. Евтехов В.Д. Альтернативная минерально-сырьевая база железорудных месторождений Кривбасса // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: Криворожский технический университет, 1997. – С. 121-125.
2. Докучаева И.Н. К вопросу оценки эффективности обогащения железистых пород Кривого Рога и технологическая классификация их // Сб. науч. тр. ин-та Механобрчермет. – М.: Недра, 1966. – №5.
3. Соколова В.П. Использование аполярных собирателей при флотации тонковкрапленных окисленных железных руд // Новое в технологии, технике и переработке минерального сырья: Сб. науч. тр. ин-та Механобрчермет. – Кривой рог, 2003. – С. 17-22.
4. Обогащение железных руд новым способом на комбинате Tilden. Villar James W.,

## **Флотація**

---

Dawe Gilbert A. The Tilden mine. A new processing technique for iron ore. "Mining Congr. J.". – 1975. – 61, № 10. – P. 40-48.

5. Особенности процесса селективной флокуляции и обесшламливания при флотационном обогащении окисленных железных руд // Экспресс-информация ЦНИИТЭИ ЧМ. Сер. Обогащение руд. – М., 1981. – Вып. 2. – 7 с.

6. Горнорудное предприятие Tilden отмечает 25-летие производства окатышей. Tilden Mine Marks 25 years of pellet production // Skill. Mining Rev. – 1999. – 88, № 50. – P. 9-10.

7. Ганзенко Т.Б., Малый В.М., Скородумова Л.П. Отработка технологии обогащения окисленных железистых кварцитов Кривбасса // Развитие техники и технологии рудоподготовки в чёрной металлургии: Сб. науч. тр. ин-та Механообрчермет. – М.: Недра, 1983. – С. 22-25.

© Олейник Т.А., Скляр Л.В., Кушнирук Н.В., Олейник М.О., Татаринев Ф.Г., 2014

*Надійшла до редколегії 14.02.2014 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*