

тенсивности с открытым градиентом // В сб.: Збагачення корисних копалин. — Днепропетровск: Изд-во НГУ, 2005.

4. *Качество минерального сырья* / А. А. Азарян, В. А. Колосов, Л. А. Ломовцев и др. / Под ред. В. Ф. Бызова. — Кривой Рог: Минерал, 2001.
5. *Воробьев В. В.* Некоторые аспекты центробежно-ударного измельчения материалов // Строительные материалы. — 2005. — № 1. **ДЖ**

E-mail: [ylgrit@rambler.ru](mailto:ylgrit@rambler.ru)

TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR DRY CONCENTRATION OF HAEMATITE-MARTITE ORES BY MINING WITH PRELIMINARY SELECTIVE CRUSHING  
**Zabolotniy S. A., Velichko Yu. V., Shiryaev A. A., Gritsay Yu. L., otvinnikov V. V., Vorob'yev V. V.**

The technology of dry magnetic concentration of haematite-martite ores by mining with preliminary selective crushing on the base of difference between strength and magnetic susceptibility of mineral-texture sorts has been developed for the first time and put into practice. It is shown that usage of centrifugal crushing maximally contributes to increase of Fe content.

**Key words:** haematite-martite ores, dry magnetic separation, centrifugal crusher, sintering ore.

УДК 622.782:628.33

© А. С. Кирнарский, А. С. Красуля, П. И. Пилов, 2008

## ТЕХНОЛОГИЯ СГУЩЕНИЯ ХВОСТОВОЙ ПУЛЬПЫ НА ПОЛТАВСКОМ ГОКЕ\*



**А. С. КИРНАРСКИЙ,**  
эксперт по обогащению  
полезных ископаемых,  
д-р техн. наук  
(Engineering Dobersek GmbH)



**А. С. КРАСУЛЯ,**  
инженер  
(Полтавский ГОК)



**П. И. ПИЛОВ,**  
проф., д-р техн. наук  
(Национальный горный  
университет, Украина)

Известно, что организация хвостового хозяйства на горно-обогатительных комбинатах связана с большими затратами. Так, суммарное потребление электроэнергии цехом хвостового хозяйства современного железорудного ГОКа в среднем составляет 25–30 % общего потребления комбинатом электроэнергии, а общие затраты предприятий на хвостовое хозяйство достигают 50 % всех затрат на обогатительный передел.

\* Авторы выражают искреннюю благодарность главному обогатителю Полтавского ГОКа Т. С. Красуле и сотрудникам лаборатории опробования за организацию и проведение седиментационных исследований непосредственно в условиях обогатительного производства, а также главному инженеру Полтавского ГОКа В. В. Лотоусу, заместителю главного инженера комбината по гидротехническим сооружениям В. В. Винтеру и начальнику шламового цеха В. И. Кошело за внимание, поддержку и ценные советы при проведении настоящей работы.

Анализ состояния данного вопроса с ретроспективной в 40 лет показал, что при строительстве новых и реконструкции действующих обогатительных фабрик США, Канады, Японии, ЮАР и других стран всегда предусматривалась организация внутризаводского водооборота. При этом максимальное использование оборотных вод достигалось путем сгущения хвостовой пульпы (до 30–70 % твердого) и возврата осветленной воды для технологических нужд, в то время как обогатительные предприятия черной металлургии Украины, России, Казахстана предпочитали осветлять хвостовую пульпу в хвостохранилищах, куда перекачивали хвосты обогащения, содержащие 2–8 % твердого.

В последние годы проводятся исследования по изысканию наиболее эффективной системы сгущения, гидротранспортирования и складирования хвостовой пульпы. Степень ее уплотнения в каждом кон-

кретном случае назначается на основании технико-экономического расчета с учетом следующих факторов: существующей схемы добычи и переработки минерального сырья; состава и реологических параметров продуктов разделения; степени чистоты оборотной воды и расхода флокулянтов; числа пульпонасосных станций, магистральных и распределительных трубопроводов и их диаметра; рельефа местности; необходимости экранизации ложа хвостохранилища, возможности использования для этой цели материала хвостов обогащения; капитальных и эксплуатационных затрат на сгущение; перспектив развития производства.

Для определения условий осаждения хвостовой пульпы и установления оптимальной схемы сгущения в условиях Полтавского ГОКа были проведены исследования непосредственно на натуральных пробах хвостов обогащения ОФ-1 и ОФ-2, результаты которых изложены в настоящей статье.

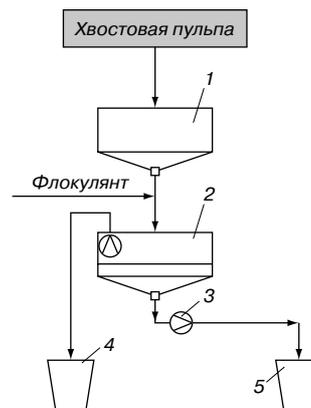
**Порядок проведения опытов**

Опыты по осаждению хвостовой пульпы проводили в исследовательской лаборатории ОФ-2. Определяли температуру и pH жидкой фазы, гранулометрический состав материала и содержание твердого в пульпе. Опыты по осаждению твердой фазы проводили в цилиндрах в условиях свободного падения частиц.

Ситовый анализ выполняли вручную, мокрым способом.

В качестве флокулянтов использовали полиакриламид (ПАА) типа АК-631 (марки А-1020 и А-227), а также реагенты Magnafloc® 336, Magnafloc® 338, Magnafloc® 3230, предоставленные фирмой Ciba®. Концентрация рабочего раствора флокулянта составляла 0,5 и 0,025 %.

После того как был определен наиболее эффективный флокулянт, его оптимальный расход и концентрация, переходили к сгущению хвостовой пульпы на стендовой установке (см. рисунок), включающей радиальный сгуститель диаметром 336 и высотой 250 мм, изготовленный из органического стекла. Сначала опыт проводили без удаления сгущенного продукта, для того чтобы стабилизировать процесс сгущения. По достижении высоты осветленного слоя 100–150 мм его удаляли и загружали новую порцию исходной пульпы.



**Схема стендовой установки:**

1 — питательная емкость (22 л); 2 — радиальный сгуститель (22 л); 3 — насос для удаления сгущенного продукта; 4 — емкость для сбора слива; 5 — емкость для сбора сгущенного продукта

Сгущенный продукт разгружали после пяти — семи операций удаления слива.

**Результаты исследований**

Гранулометрический состав хвостов обогащения руды, получаемых в период проведения исследований, приведен ниже.

Класс крупности, мм	Выход, %
-0,3+0,16	2
-0,16+0,071	12,4
-0,071+0,056	4,1
-0,056	81,5
<b>Итого</b>	<b>100,0</b>

На основании полученных данных по методике Кленденджера — Коу была определена скорость осветления хвостовой пульпы для различных условий (табл. 1). Температура пульпы в ходе выполнения опытов составляла в среднем 6 °С, содержание твердого — 2,7–2,8 %.

Эффективность действия флокулянтов  $\eta_{фл}$  рассчитывали по формуле:  $\eta_{фл} = [(V_{фл} - V_{ест}) / V_{фл}] \cdot 100$ , % где  $V_{фл}$ ,  $V_{ест}$  — скорость осветления пульпы для условий с добавлением флокулянтов и без добавления соответственно, мм/с.

**Таблица 1. Результаты процесса осветления хвостовой пульпы**

Тип флокулянта	Показатели процесса осаждения твердых частиц хвостовой пульпы при расходе флокулянта, г/т						
	3	6	12	24	36	50	75
Без загрузки флокулянта	0,236						
М-336	1,9/87,58	3,1/92,39	5,45/95,67	7,4/96,81	9,02/97,38	10,17/97,68	13,4/98,24
М-3230	1,8/86,89	3,55/93,35	8/97,05	12,1/98,05	14,9/98,42	17,1/98,62	17,1/98,62
М-338	1,88/87,45	5,36/95,60	11,1/97,87	15,7/98,50	17,4/98,64	20,1/98,83	24,6/99,04
ПАА А-1020	1,8/86,89	1,87/87,38	4,67/94,95	7/96,63	8,3/97,16	11,53/97,95	13/98,18
ПАА А-227	1,8/86,89	6,6/96,42	11,7/97,98	12,1/98,05	15,13/98,44	15,7/98,50	24,3/99,03

Примечание. В числителе — скорость осаждения частиц, мм/с; в знаменателе — эффективность действия флокулянта, %.

Расход флокулянтов оказывает значительное влияние на характер хлопьеобразования. Так, при умеренных (3–12 г/т) расходах всех исследованных реагентов образуются мелкие и рыхлые хлопья неправильной формы. С возрастанием расхода до 36 г/т хлопья укрупняются, уплотняются и образуют осадок, содержащий 45–50 % твердого. Увеличение расхода флокулянтов до 50–70 г/т сопровождается дальнейшим уплотнением хлопьев и установлением четкой границы раздела между слоями осветленной воды и сгущенного продукта.

Результаты завершающих опытов на стендовой установке в установившемся режиме приведены в табл. 2.

**Анализ результатов исследований**

Как отмечалось выше, хвостовая пульпа Полтавского ГОКа отличается большой разжиженностью (Ж:Т > 30), высокой дисперсностью (81,5 % класса –0,056 мм). Без использования флокулянтов скорость осветления такой суспензии составляет 0,16–0,236 мм/с. Рассчитаем удельную площадь осаждения по формуле\*\*:

$$S_{уд} = (R_{исх} - R_{сг}) / (K \cdot V_{ест} \cdot \gamma_{ж}), (M^2 \cdot ч) / т,$$

где  $R_{исх}$  и  $R_{сг}$  — соотношение Ж:Т по массе в исходном и сгущенном продуктах соответственно;  $K$  — коэффициент, учитывающий эффективность использования поверхности осаждения сгустителя ( $K = 0,7 \div 0,8$ );  $\gamma_{ж}$  — плотность жидкости, т/м<sup>3</sup>.

Согласно расчету, при условии сгущения пульпы до 30 % твердого удельная площадь осаждения без использования флокулянтов составляет 60–65 (м<sup>2</sup>·ч)/т.

Общая площадь осаждения (м<sup>2</sup>), равная  $S_{общ} = S_{уд} \cdot Q$  (где  $Q$  — общее количество хвостов, т/ч), для условий ОФ-1 ( $Q = 643$  т/ч) составит около 40,2 тыс. м<sup>2</sup>, что соответствует площади двадцати радиальных сгустителей диаметром 50 м, для условий ОФ-2 потребуется уже 24 сгустителя такого же диаметра.

Использование флокулянтов, эффективность действия которых превышает 85 % уже при расходе 3 г/т, позволяет значительно сократить требуемую площадь осветления. Из исследуемых реагентов наиболее эффективными (см. табл. 1 и 2) оказались полиакриламид АК-63 марки А-227 и Магнафлок® М-338.

Анализ результатов исследований показывает, что повышение плотности осадка до 50–55 %, сопровождающееся ухудшением качества слива, хотя и на технологически безопасном уровне (не более 0,4–0,5 г/л), связано со значительным расходом реагента — до 33,7 г/т. Указанный расход флокулянтов означает дополнительные годовые эксплуатаци-

**Таблица 2. Результаты опытов по сгущению пульпы на стендовой установке**

Показатели	Номер опыта			
	1	2	3	4
Содержание твердого в питании, %	2,6	3,2	3,2	2,5
Скорость осветления пульпы без загрузки флокулянта, мм/с	0,185	0,166	0,182	0,16
Тип флокулянта	М-3230	М-3230	М-3230	М-338
Расход флокулянта, г/т	12	22,6	33,7	33,7
Скорость осветления пульпы, мм/с	0,69	6,2	7,83	7,1
Содержание твердого в сгущенном продукте, %	31	52	51,6	53,4
Содержание твердого в сливе, г/л	0,4	0,2	0,16	0,155

**Таблица 3. Техничко-экономические показатели работы шламового цеха Полтавского ГОКа**

Показатели	Хвостовая пульпа	Сгущенный продукт	Слив
Объем хвостовой пульпы, тыс. м <sup>3</sup> /ч	39,9	3,035	36,865
Содержание твердого в хвостовой пульпе, %	3,4	35	0,044
Количество твердого в хвостовой пульпе, тыс. т/ч	1,387	1,371	0,163
Объем воды в хвостовой пульпе, тыс. м <sup>3</sup> /ч	39,405	2,545	36,859
Число перекачивающих насосов, ед.:			
рабочих	6	2	—
резервных	4	2	—
Установочная мощность насоса, тыс. кВт	3,2	0,8	—
Потребляемая мощность насоса, тыс. кВт	2,56	0,64	—
Годовой фонд рабочего времени, тыс. ч	8,16	8,16	—
Коэффициент использования оборудования	0,92	0,92	—
Годовой расход электроэнергии, млн кВт·ч	115,31	9,61	—
Тариф за электроэнергию, грн/(кВт·ч)	0,17	0,17	—
Годовые затраты на перекачку хвостовой пульпы в хвостохранилище, млн грн	19,6	1,63	—
Расход флокулянта, г/т	—	12	—
Стоимость флокулянта, грн/кг	—	22,5	—
Годовые затраты на флокулянт, млн грн	—	2,81	—
Суммарные годовые затраты на электроэнергию и флокулянт, млн грн	—	4,44	—

\*\* Вовк Н. Е. Обратное водоснабжение и подготовка хвостов к складированию. — М.: Недра, 1977.

онные затраты в размере 8,6 млн гривен\*\*\* при стоимости флокулянта 22,5 грн/кг, в то время как расход реагентов в количестве 12 и 6 г/т требует ежегодно 3,06 и 1,53 млн гривен соответственно дополнительных эксплуатационных затрат. Учитывая, что годовой объем перекачиваемой пульпы в условиях Полтавского ГОКа в настоящее время составляет 39,9 тыс. м<sup>3</sup>/ч (18,5 тыс. м<sup>3</sup>/ч по ОФ-1 и 21,4 тыс. м<sup>3</sup>/ч по ОФ-2) при среднем содержании твердого 3,5 %, а тариф за электроэнергию равен 0,17 грн/(кВт·ч), годовые затраты на электроэнергию достигнут 8,08 млн грн. Следовательно, при расходе флокулянта 33,7 г/т выгоднее перекачивать хвостовую пульпу в хвостохранилище без предварительного ее сгущения. Отметим, что в условиях Лебединского ГОКа повышение плотности пульпы с 35 до 60 % при прочих равных условиях привело к снижению производительности сгустителя в 2 раза. Следовательно, данные авторов не согласуются со сложившейся тенденцией максимального сгущения хвостовой пульпы, вплоть до пастообразного ее состояния\*\*\*\*.

Использование флокулянтов ПАА марки А-227 или Магнафлок® М-338 при расходе 12 г/т позволяет получить относительно чистый слив (не более 0,5 г/л) при плотности сгущенного продукта 30–40 %. В этом случае удельная площадь осветления составит 1,6–2,3 (м<sup>2</sup>·ч)/т, а общая площадь — для ОФ-1 — 1493 м<sup>2</sup>, а для ОФ-2 — 1735 м<sup>2</sup>, что потребует установки двух сгустителей диаметров по 50 м, а с учетом резерва — четырех.

Дальнейшее повышение степени сгущения пульпы связано со значительным ростом эксплуатационных затрат. Расход реагентов в пределах 50–70 г/т

обеспечивает полное осветление пульпы при содержании твердого в сгущенном продукте более 55 %, но экономически такая технология малорентабельна, а срок ее окупаемости может составить десятки лет.

Таким образом, технология обработки хвостовой пульпы в условиях Полтавского ГОКа включает ее сгущение в радиальных сгустителях диаметром 50 м с использованием флокулянтов типа Магнафлок® М-336 (расход около 12 г/т). Содержание твердой фазы в сгущенном продукте при этом возрастает до 35 %, а в сливе — не превышает 500 мг/л. Сгущенный продукт шламовыми насосами перекачивают в хвостохранилище, а слив возвращают в технологический процесс.

Технико-экономические показатели работы шламового цеха Полтавского ГОКа при перекачивании исходных и сгущенных хвостов приведены в табл. 3. Они свидетельствуют о высокой эффективности новой технологии. 

TECHNOLOGY OF TAILING PULP THICKENING AT POLTAVSKY MINING AND CONCENTRATING WORKS

*Kirnarsky A. S., Krasulya A. S., Pilov P. I.*

The results of investigations in tailing pulp thickening at Poltavsky mining and concentrating works are presented for laboratorial and industrial conditions of concentrating plants No. 1 and No. 2. Optimal concentrations and consumption of flocculants are revealed; it allows to obtain thickened product ready for pumping and technologically clean waste water.

**Key words:** *Poltavsky mining and concentrating works, tailing pulp, thickening, radial thickening agent, flocculant, water rotation*

\*\*\* 1 гривна по состоянию на 07.05.08 г. соответствует 4,77 руб.

\*\*\*\* *Robinsky E. I. Thickened Tailings in the Mining Industry. Toronto, Canada, 1999.*

Издательский дом «Руда и Металлы» готовит к выпуску книгу

Меретуков М. А. Золото: химия → минералогия → металлургия  
(примерный объем 35 печ. л.)

В книге приведены сведения, характеризующие современное состояние химии, минералогии и металлургии золота. Рассмотрены данные о мировом производстве, структуре потребления и новых областях применения золота, описаны новации в химии золота, включая электрохимию и катализ, а также получение и свойства кластеров и наноструктур.

Приведены общие сведения о геохимии и минералогии золота, включая характеристики его химического состояния в гидротермальных растворах, описание теорий выделения на вмещающих минералах и данные о природном нанозолоте.

Изложены достижения в металлургии золота, включающие интенсивное цианирование гравитационных концентратов, способы кондиционирования упорных руд, данные о механизме адсорбции золота на активном угле и новых методах выделения золота из растворов, оценку возможности использования нецианистых растворителей золота, хлоридовозгонки и фитоэкстракции.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, аспирантов и студентов, специализирующихся в области металлургического производства благородных металлов.

По вопросам приобретения книги  
обращайтесь по тел./факсу: (495) 955-01-75, 230-45-18,  
e-mail: tsvetmet@rudmet.ru, rim@rudmet.ru