

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
Криворожский горнорудный институт

На правах рукописи

ТАН БАХА

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ  
МАГНЕТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТНЫХ  
ГИДРОЦИКЛОНОВ

Специальность 05.15.08 - "Обогащение полезных  
ископаемых"

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Кривой Рог - 1994



AB 29.999

Работа выполнена в Криворожском горнорудном институте

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

- доцент кафедры ОПИ  
КГРИ, кандидат  
технических наук  
Юров Петр Пантелеевич

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

- доктор технических  
наук, профессор  
Шупов Леонид Петрович  
  
- кандидат технических  
наук Ломовцев  
Лев Алексеевич

ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ:

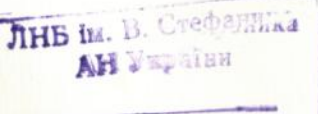
- Центральный горно-  
обогатительный  
комбинат

Защита состоится " 14 " апреля 1994 г.  
в 10:00 часов на заседании специализированного  
совета К 16.01.01 Криворожского горнорудного инсти-  
тута по адресу: 324027, г.Кривой Рог, ул.ХХІІ партсъезда,ІІ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КГРИ.  
Автореферат разослан " 14 " марта 1994 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
кандидат технических наук

Горбачев Ю.Г.



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Актуальность работы. Возможности традиционных способов обогащения магнетитовых кварцитов и обожженной руды практически исчерпаны, поэтому в последние годы, при поступлении в переработку тонковкрапленных бедных руд, наблюдается тенденция некоторого снижения массовой доли железа в концентрате, что противоречит технологическим и экономическим требованиям металлургического производства.

В КНР бурно развивается рыночная экономика. Рыночная конкуренция в горнодобывающей промышленности заставляет обогатительные фабрики повышать качество концентрата из железных руд без существенного снижения его извлечения.

По существующей технологии обогащения в железорудных концентратах, получаемых из крупновкрапленных магнетитовых руд на обогатительных фабриках КНР, содержится 4-5% бедных сростков, а на обогатительных фабриках Кривбасса, перерабатывающих тонковкрапленные магнетитовые кварциты, до 4-7%, выделение которых затруднительно. В настоящее время еще недостаточно изучены и не в полной мере используются способы выделения бедных сростков, образующихся при переработке сырья, способы, которые могут повысить качество концентрата и увеличить эффективность работы доменных печей. Одним из таких способов является повышение эффективности обесшламливания продуктов обогащения. По этому направлению известны работы Кармазина В.И., Кармазина В.В., Ярова П.П., Губина Г.В., Шохина В.Н., Денисенко А.И., Николаенко В.П., Ломовцева Л.А., Усачева П.А., Зеленова П.И., Gang Shen, J.A. Frinch, Ли Тайминь и др.

Одним из направлений повышения эффективности обесшламливания магнетитовых и восстановленных до магнетита руд является применение магнитных гидроциклонов с использованием магнитного и центробежного полей.

Целью работы является разработка способа интенсификации процесса выделения бедных сростков из магнитных продуктов путем применения магнитного и центробежного полей.

Идея работы заключается в использовании закономерностей движения магнитных частиц и флюкул в магнитном и центробежном полях для разработки конструкции магнитного гидроциклона.

Методы исследования. Для решения поставленных в работе задач применена комплексная методика, в основу которой положены аналитические, физические, технологические, технико-экономические и статистические исследования. Проверка результатов теоретических исследований проводилась экспериментально в лабораторных и полупромышленных условиях.

Научные положения, разработанные диссертантом и их новизна:

- определены взаимодействия между ферромагнитными частицами при воздействии магнитного и центробежного полей;
- установлена зависимость эффективности обесшламливания в магнитном гидроциклоне от расстояния между магнитами на входном патрубке;
- путем математической обработки данных экспериментов определены параметры магнитного гидроциклона;
- установлена оптимальная глубина погружения сливного патрубка;
- определены параметры песковых насадок для каждой стадии обесшламливания;
- установлена зависимость эффективности обесшламливания в магнитном гидроциклоне от массовой доли твердого в среде разделения.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертации подтверждены результатами исследований с использованием классических методов физики магнетизма и гидрав-

лики, а также лабораторными, полупромышленными испытаниями и математической обработкой экспериментальных данных на ЭВМ. Объем экспериментальных исследований определен из условия обеспечения полной надежности результатов экспериментов.

Практическая ценность. На основе лабораторных и полупромышленных исследований предложен способ применения комбинированного магнитного и центробежного полей для интенсификации процесса обесшламливания тонкоизмельченных сильномагнитных руд на обогатительных фабриках КНР.

Реализация работы. Научные положения работы будут использованы при реконструкции магнитных конусов диаметром 3 м для обесшламливания магнетитовых кварцитов на обогатительной фабрике Наншань и на обогатительной фабрике Цидань, перерабатывающей восстановленные до магнетита руды.

Апробация работы. Результаты работы доложены и обсуждены на научно-технических конференциях Криворожского горнорудного института (г.Кривой Рог, 1991-1993 г.г.).

Публикация. По теме диссертационной работы опубликованы четыре депонированных статьи.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений, изложенных на 122 страницах машинописного текста, содержит 18 рисунков, 16 таблиц, список литературы из 72 наименований, 15 приложений.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю, доценту Крову П.П. за квалифицированное руководство при выполнении диссертационной работы, заведующему кафедрой ОПИ КГРИ, академику Губину Г.В. и доценту Гвоздуку В.С. за участие в обсуждении окончательного варианта работы и сотрудникам кафедры ОПИ за критические замечания по улучшению диссертационной работы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Одной из основных операций обогащения тонкоизмельченных магнетитовых и восстановленных до магнетита руд является обесшламливание. В настоящее время в КНР в качестве обесшламливающего аппарата для обогащения сильномагнитных руд применяются магнитные конусы диаметром 3 м, а в СНГ - магнитные дешламатыры типа МД-5, МД-9 и МД-12.

Анализ литературных источников показал, что вопросы обесшламливания тонкоизмельченных сильномагнитных руд в СНГ и за его пределами, в том числе и в КНР, изучены недостаточно.

В связи с этим для достижения поставленной цели в диссертационной работе необходимо решить следующие задачи:

1. Обосновать и разработать методы исследования магнитного гидроциклона;
2. Проанализировать процессы движения тонкоизмельченных сильномагнитных частиц в магнитном гидроциклоне;
3. Провести лабораторные и полупромышленные испытания магнитных гидроциклонов на сливах I, II и III стадий классификации;
4. Разработать методику реконструкции магнитных конусов на обогатительных фабриках КНР с целью переделки их в магнитные гидроциклоны.

Для выбора и обоснования схемы магнитного гидроциклона (рис. I) в лабораторных условиях были исследованы его технологические параметры.

Магнитный гидроциклон работает следующим образом.

Поступающая в магнитный гидроциклон пульпа проходит через питающий патрубок 3 с магнитной системой 4. При этом ферромагнитные частицы намагничиваются в поле магнитной системы 4. Поток пульпы попадает в магнитный гидроциклон тангенциально боковой поверхности и движется вдоль нее. При этом намагниченные

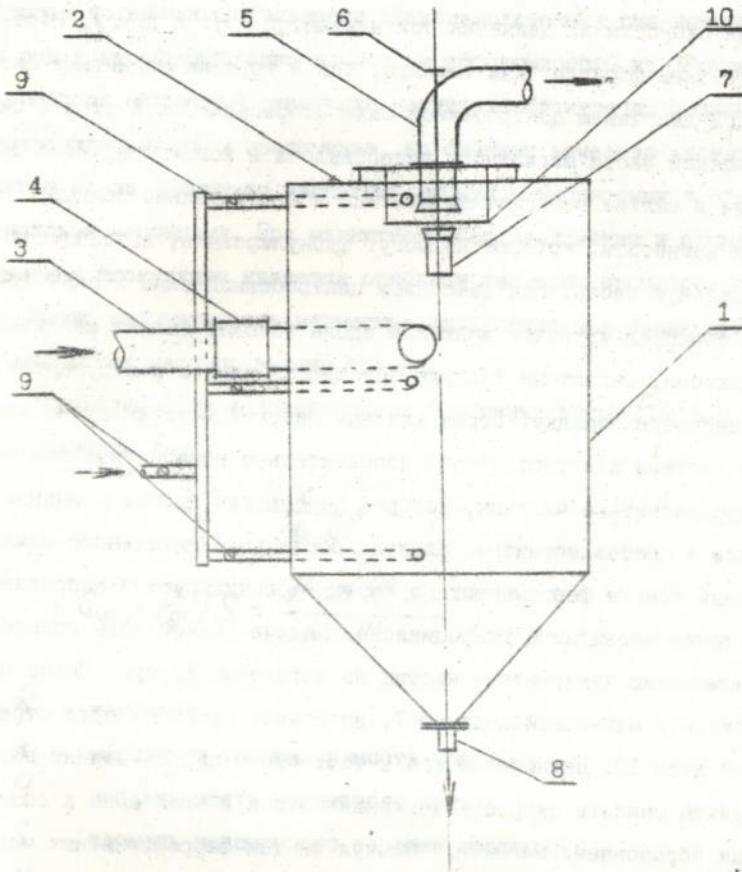


Рис.1. Магнитный гидроциклон

- 1 - корпус; 2 - крышка; 3 - нагнетающий патрубок;  
 4 - намагничивающая система из постоянного магнита;  
 5 - сливной патрубок; 6 - устройство для регулирования магнита 7; 7 - постоянная магнитная система,  
 8 - песковая насадка; 9 - патрубок для подачи чистой воды; 10 - отражательный диск

ферромагнитные частицы за счет остаточной намагниченности и снижения скорости их движения притягиваются друг к другу, образуя магнитные флокулы. Как тяжелые, так и крупные магнитные флокулы, под действием центробежной силы отбрасываются к стенке цилиндрической части магнитного гидроциклона и концентрируются там, а легкие и мелкие немагнитные частицы и относительно бедные сростки магнетита, которые не могут флокулироваться, вытесняются в центральную часть. Под действием центробежной силы и силы тяжести, совершая круговые движения вдоль боковой стенки магнитного гидроциклона, магнитные флокулы опускаются вниз и разгружаются через песковую насадку. Перед сливным патрубком установлена магнитная система для того, чтобы дополнительно намагничивались тонкие ферромагнитные частицы, которые по тем или другим причинам не вошли в состав магнитных флокул. После дополнительного намагничивания тонкие ферромагнитные частицы флокулируются и направляются к стенке магнитного гидроциклона. Подача свежей воды способствует вымыванию немагнитных частиц из магнитных флокул. Поток пульпы проходя у магнитной системы 7, встречает на своем пути отражательный диск 10. Назначение его в том, чтобы при обмывании потоком пульпы снизить скорость движения потока в этой зоне и создать условия образования магнитных флокул из тех ферромагнитных частиц, которые приобрели достаточно высокую остаточную намагниченность. Сфлокулированные сильномагнитные частицы под действием центробежной силы выходят из сливного потока и перемещаются к внутренней стенке магнитного гидроциклона, а затем попадают в пески.

При анализе поведения тонкоизмельченных сильномагнитных материалов в магнитном поле и после намагничивания установлено, что стремление системы ферромагнитных частиц в магнитном поле или после магнитного поля к уменьшению общей магнитостатической энергии (энергии свободных полюсов) приводит к образованию агрегатов из этих частиц, именуемых флокулами.

Явление магнитной флокуляции неизбежно сопровождает любую операцию магнитного обогащения тонкоизмельченных сильномагнитных руд и непосредственно влияет на эффективность их обогащения. В процессах магнитной сепарации магнитная флокуляция повышает производительность и извлечение, но снижает качество магнитной фракции из-за засорения магнитных флокул немагнитными и слабомагнитными частицами. При магнитном обесшламливании и сгущении магнитная флокуляция является основным фактором процесса.

Можно рассматривать магнитную флокуляцию как взаимодействие магнитных масс по закону Кулона.

Определим силу взаимодействия магнитных масс  $F_{\varphi}$  и прочность флокулы  $\sigma_{\varphi}$ ,

$$F_{\varphi} = \frac{K \chi^2 H^2 S^2}{\mu_0 R^2}, \quad (1)$$

$$\sigma_{\varphi} = F_{\varphi} / S = \frac{K \chi^2 H^2 J}{\mu_0 R^2}, \quad (2)$$

где  $K$  - константа;

$\chi$  - магнитная восприимчивость частицы;

$H$  - напряженность магнитного поля;

$S$  - площадь поперечного сечения частицы;

$\mu_0$  - магнитная проницаемость среды;

$R$  - расстояние между частицами.

Допустим, что  $\frac{KS}{\mu_0 R^2} = k$ , то получим

$$\sigma_{\varphi} = k \chi^2 H^2 = k J^2. \quad (3)$$

Для остаточной флокуляции

$$\sigma_{\varphi} = k J_{\gamma}^2, \quad (4)$$

где  $J_{\gamma}$  - остаточная намагниченность частицы.

Из формул (3) и (4) видно, что сила взаимодействия между магнитными частицами и прочностью флокулы пропорциональна квадрату напряженности магнитного поля или остаточной намагниченности частицы.

При анализе движения флокул в магнитном гидроциклоне установлено, что на магнитные частицы действуют следующие силы:

1. Центробежная сила

$$F_y = \frac{\pi}{6} d^3 \rho_T \cdot \frac{v^2}{r}, \quad (5)$$

где  $\rho_T$  - плотность частицы;

$d$  - диаметр частицы;

$r$  - радиус вращения частицы;

$v$  - тангенциальная скорость движения частицы.

2. Сила Архимеда в центробежном поле

$$F_A = \frac{\pi}{6} d^3 \rho_{ж} \frac{v^2}{r}, \quad (6)$$

где  $\rho_{ж}$  - плотность среды.

3. Сила сопротивления при относительном движении частицы от среды

$$F_c = 3\pi d \mu u, \quad (7)$$

где  $\mu$  - динамическая вязкость;

$u$  - радиальная скорость движения частицы.

4. Сила взаимодействия между намагниченными частицами

$$F_{\phi} = k J^2 S, \quad (8)$$

Сила  $F_{\phi}$  возникает лишь в случае, когда у магнитных частиц имеется остаточная намагниченность. Она влияет на прочность флокулы.

Магнитный гидроциклон должен работать в режиме небольшого давления, так как на флокулу действуют разрушающие механические силы,

$$\bar{F}_M = \bar{F}_C + \bar{F}_r + \bar{F}_c + \bar{F}_n, \quad (9)$$

где  $F_C$  - центробежная сила;

$F_r$  - гравитационная сила;

$F_c$  - сила сопротивления пульпы при относительном движении флоккулы от нее;

$F_n$  - прочие силы, зависящие от турбулентности движения потока.

Если  $F_M > F_{\varphi}$ , т.е. действующие на флоккулу механические силы больше силы магнитного взаимодействия между частицами, то флоккула разрушается, если  $F_M < F_{\varphi}$ , то магнитная флоккула сохраняется.

В процессе исследований определялись массовая доля железа в песках ( $\beta$ , %), массовая доля железа в форме магнетита в сливе ( $V_{Mf}$ , %), эффективность обогащения ( $E$ , %) в зависимости от диаметра песковой насадки ( $d_n$ , мм), производительности по питанию ( $Q$ , л/мин), массовой доли твердого в среде разделения ( $T$ , %), расстояния между магнитами на входном патрубке ( $L$ , мм) и глубины погружения сливного патрубка ( $H$ , мм).

После обработки данных экспериментов по специальной программе "Statgraphics" на ПЭВМ найдены в общей сложности 9 уравнений регрессии:

- для I стадии

$$\hat{\beta} = 65,47 - 8,65d_n - 0,71Q + 1,03T - 0,08L + 0,05H + 0,51d_n^2 + 0,05Q^2 - 0,02T^2 - 0,0003H^2$$

( $r = 0,87$ ,  $F = 9,19$ )

(IO)

$$V_{Mf} = 4,15 - 0,49d_n + 0,28Q + 0,09T - 0,31L - 0,06H + 0,0006L^2 + 0,0004H^2$$

( $r = 0,96$ ,  $F = 38,9$ )

(II)

$$\hat{E} = 112,73 - 25,21d_n - 3,28Q + 3,59T - 0,41L \\ - 0,16H + 1,47d_n^2 + 0,19Q^2 - 0,06T^2 - 0,0009H^2 \\ (\tau = 0,88, F = 9,7) \quad (I2)$$

- для II стадии

$$\hat{\beta} = 60,3 - 0,75d_n + 0,14Q - 0,093T \\ - 0,0012Q^2 \\ (\tau = 0,91, F = 36,6) \quad (I3)$$

$$\hat{v}_{nr} = -24,22 + 5,90d_n - 0,022Q - 0,35T \\ - 0,28d_n^2 + 0,003Q^2 \\ (\tau = 0,85, F = 15,2) \quad (I4)$$

$$\hat{E} = 66,52 - 3,84d_n + 0,35Q - 0,7T \\ (\tau = 0,89, F = 36,2) \quad (I5)$$

- для III стадии

$$\hat{\beta} = 62,34 + 0,03d_n + 0,09Q - 0,12T \\ - 0,013d_n^2 - 0,007Q^2 + 0,0024T^2 \\ (\tau = 0,87, F = 19,7) \quad (I6)$$

$$\hat{v}_{nr} = 8,42 - 0,28d_n - 0,3Q - 0,14T \\ + 0,008Q^2 \\ (\tau = 0,89, F = 36,2) \quad (I7)$$

$$\hat{E} = 14,78 - 0,05d_n + 0,63Q - 0,75T \\ - 0,084d_n^2 - 0,005Q^2 + 0,015T^2 \\ (\tau = 0,87, F = 19,6) \quad (I8)$$

где  $\hat{\beta}$ ,  $\hat{V}_{\text{мг}}$  и  $\hat{E}$  - оценки соответственно массовой доли железа общего в песках, железа в форме магнетита в сливе и эффективности обогащения.

Для оптимизации параметров по специальной программе на ЭЕМ, например, для I стадии берем целевую функцию

$$\hat{V}_{\text{мг}} = 4,15 - 0,49d_n + 0,28Q + 0,09T - 0,31L - 0,06H + 0,006L^2 + 0,0004H^2 = \min,$$

тогда оптимизационная модель имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \beta &= 65,47 - 8,65d_n - 0,71Q + 1,03T - 0,08L + 0,05H \\ &\quad + 0,51d_n^2 + 0,05Q^2 - 0,02T^2 - 0,0003H^2 \geq 40,0 \\ \hat{V}_{\text{мг}} &= 4,15 - 0,49d_n + 0,28Q + 0,09T - 0,31L \\ &\quad - 0,06H + 0,006L^2 + 0,0004H^2 = \min \\ E &= 112,73 - 25,21d_n - 3,28Q - 3,59T - 0,41L \\ &\quad - 0,16H + 1,47d_n^2 + 0,19Q^2 - 0,006T^2 - 0,0009H^2 \geq 40,0 \\ &5 \leq d_n \leq 10 \\ &9 \leq Q \leq 19,5 \\ &13,5 \leq T \leq 30,6 \\ &40 \leq L \leq 80 \\ &35 \leq H \leq 230 \end{aligned} \right\} (I9)$$

Результаты расчетов по оптимизационной модели (I9) показаны в табл. I.

Таблица I

## Результаты оптимизации

Параметр	$d_n$	$Q$	$T$	$L$	$H$	$\hat{\beta}$	$\hat{V}_{\text{мг}}$	$\hat{E}$
Оптимум	17,0!	14,3!	21,8!	40!	75!	40,8!	1,5!	40,5!

При лабораторных условиях испытаны влияние установки дополнительного магнита на входном патрубке (рис.2) и при отсутствии магнита перед сливным патрубком (рис.3). Результаты испытаний

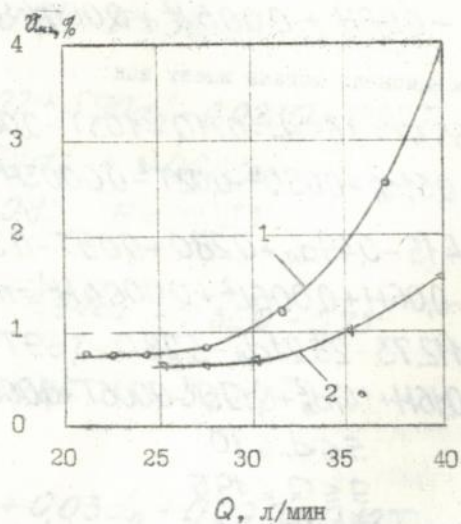


Рис.2. Зависимости массовой доли железа в форме магнетита в сливе ( $W_m$ ) от производительности ( $Q$ ) при условиях:

1 и 2 - без и с применением дополнительного магнита на входной патрубке

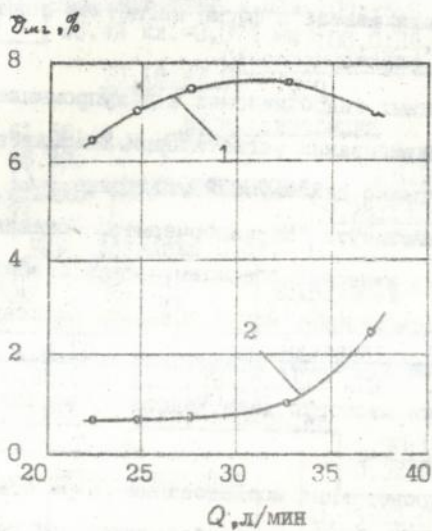


Рис.3. Зависимости массовой доли железа в форме магнетита в сливе ( $U_{mg}$ ) от производительности ( $Q$ ) при условиях:

1 и 2 - без и с применением магнита перед сливным патрубком

показали, что установка дополнительного магнита на входном патрубке способствует снижению массовой доли железа в форме магнетита в сливе на 0,5-1,0%, а при отсутствии магнита перед сливным патрубком массовая доля железа в форме магнетита повышается на 5,0-6,0%.

Испытания магнитных гидроциклонов в полупромышленных условиях в трех стадиях обесшламливания магнетитовых кварцитов СевГОКа по схеме РОФ-I на непрерывно действующей установке ( $Q = 160-180 \text{ кг/ч}$ ) на опытной фабрике института "Механобрчермет" показали, что магнитные гидроциклоны в качестве обесшламливающего аппарата, установленные после классификации, могут повысить массовую долю железа в концентрате на 1,0-1,8%, извлечение железа в концентрат на 6,0-7,0% и снизить массовую долю железа в хвостах на 2,0-3,0% (рис. 4).

На основании проведенных исследований разработаны эскизы реконструкции магнитных конусов на обогатительной фабрике Цидань в КНР в магнитные гидроциклоны. Ожидаемый экономический эффект от реконструкции составит 2 987 тыс. юаней.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой дано решение задачи, имеющей значение для обесшламливания и сгущения тонкоизмельченных магнетитовых и восстановленных до магнетита руд, заключающееся в установлении зависимостей, определяющих оптимальные технологические параметры магнитного гидроциклона.

Основные научные и практические результаты сводятся к следующему:

I. Определены взаимодействия между ферромагнитными частицами за счет остаточной намагниченности и движения материалов в магнитном гидроциклоне.

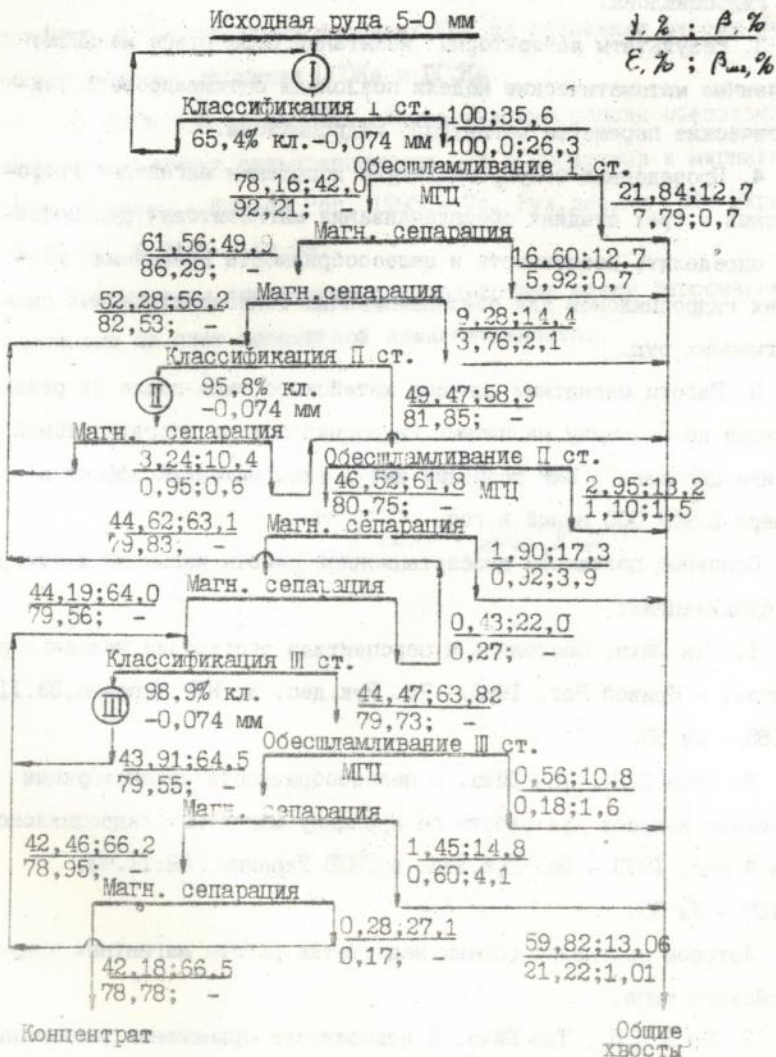


Рис. 4. Схема обогащения магнетитовых кварцитов СевГОКа по схеме РОФ-1 с применением магнитных гидроциклонов в трех стадиях обесшламливания на непрерывно действующей установке  $Q = 160$  кг/ч

2. Обоснован и разработан метод исследования модели магнитного гидроциклона.

3. Результаты лабораторных испытаний обработаны на ПЭВМ, полученные математические модели позволили оптимизировать технологические параметры магнитного гидроциклона.

4. Проведенные полупромышленные испытания магнитных гидроциклонов в трех стадиях обесшламливания магнетитовых руд позволили определить возможность и целесообразность применения магнитных гидроциклонов для обесшламливания тонкоизмельченных сильномагнитных руд.

5. Работа магнитных конусов китайского типа после их реконструкции по принципу магнитных гидроциклонов на обогатительной фабрике Цидашань в КНР позволит иметь экономический эффект в размере 2 987 000 уаней в год.

Основные положения диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

1. Тан Ыйхэ. Состояние и перспектива обогащения железных руд в Китае. - Кривой Рог, 1993.- 7с. Рук.деп. в ГНТБ Украины, 03.II.93, № 2185 - Ук 93.

2. Кров П.П., Тан Ыйхэ. О целесообразности реконструкции магнитных конусов для работы по принципу магнитных гидроциклонов. Кривой Рог, 1993.- 5с. Рук.деп. в ГНТБ Украины, 03.II.93, № 2187 - Ук 93.

Автором проанализированы недостатки работы магнитных конусов китайского типа.

3. Крвз П.П., Тан Ыйхэ. О возможности применения магнитных гидроциклонов в схемах обогащения сильномагнитных руд. - Кривой Рог, 1993.- 6с. Рук.деп. в ГНТБ Украины, 03.II.93, № 2188 - Ук 93.

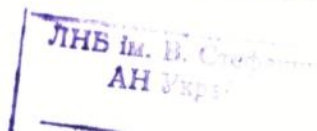
Автором изучена возможность применения магнитных гидроциклонов на обогатительных фабриках КНР на основании работы их на обогатительных фабриках ЦГОКа и ЮГОКа.

4. Дров П.П., Тан Юйхэ. Теоретические основы обесшламливания тонкоизмельченных сильномагнитных руд и продуктов в магнитном гидроциклоне. - Кривбій Рог, 1993. - 7с. Рук. деп. в ГНТБ Украины, 03.II.93, № 2186 - Ук 93.

Соискателем определены взаимодействия между ферромагнитными частицами за счет остаточной намагниченности.

*Тан Юйхэ*

462883



AB 29.999  
**AB 29.999**

---

РТП КГРІ, г.Кривой Рог, ул.ХХІІ партсъезда, ІІ  
Зак.№ І6, тираж І00 экз. Подписано к печати І4 февраля І90  
Объем І п. ч.