

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МОКРОЙ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ КЛАССА МИНУС 3+0 ММ ДРОБЛЕННОЙ РУДЫ

Мокрая магнитная сепарация является основным процессом обогащения измельченных магнетитовых руд всех типов. В настоящее время для ММС используются, в основном, барабанные сепараторы со слабым магнитным полем и нижним, под вращающийся барабан, подводом исходного питания. По направлению вращения барабана и конструкции ванны, сепараторы подразделяются на три основных типа: прямоточные, полупротивоточные и противоточные. Ванны сепараторов, в свою очередь, подразделяются на два типа: с раздельной и совместной разгрузкой грубой (песковой) и тонкой (шламистой) фракций немагнитного продукта (хвостов).

По паспортным данным прямоточные сепараторы должны обеспечивать возможность надежной работы при крупности измельченной руды до 6 мм.

По паспортным данным противоточные сепараторы с раздельной разгрузкой грубых и тонких хвостов должны обеспечивать надежную работу при крупности измельченной руды до 2 мм. Противоточные сепараторы с совместной разгрузкой хвостов через переливной порог, также как и полупротивоточные, должны обеспечивать надежную работу при крупности исходного питания до 0,2 мм.

Таким образом, вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что с позиции надежности работы для обогащения класса минус 3 мм схемы комбинированного предобогащения дробленой руды могут быть использованы только прямоточные сепараторы с раздельной разгрузкой грубых и тонких классов хвостов.

Практический опыт эксплуатации прямоточных сепараторов в схемах обогащения магнетитовых руд различных типов показывает следующее. Сепараторы, как правило, используются для обогащения сливов стержневых мельниц и сливов классификаторов, работающих на сливах стержневых и шаровых мельниц. В первом случае крупность питания сепараторов обычно не превышает 3(4) мм, во втором – не более 1,5(2,0) мм. Следует отметить, что крупность питания сепараторов обусловлена, главным образом, количеством и размерами раскрытых нерудных минералов, при которых достигается максимальный выход бедных хвостов.

На Соколово-Сарбайском, Качканарском, Коршуновском и Ковдорском ГОКах (ССГОК, КачГОК, КорГОК, КовГОК), при обогащении скарных, магномагнетитовых и титаномагнетитовых руд, питанием сепараторов являются сливы стержневых мельниц крупностью от минус 3 до минус 1,5 мм. На ССГОКе, при  $Fe_{\text{общ}}$  в исходном питании (промпродукт СМС) на уровне 40-43%, выход хвостов составляет около 22-28%; на КовГОКе, при  $Fe_{\text{общ}} = 27-29\%$ , выход хвостов достигает 40-42%; на КорГОКе, при  $Fe_{\text{общ}} = 26-27\%$ , выход хвостов достигает 50-52%; на КачГОКе, при  $Fe_{\text{общ}} = 16-17\%$ , до 63%.

На ОГОКе, ПГОКе и НКГОКе питанием сепараторов являются сливы классификаторов крупностью от минус 1,5(2,0) до 0,8(0,6) мм. Выход хвостов при обогащении гематит-магнетитовых руд на ОГОКе достигает 60-65%, при обогащении крупно- и мелкозернистых магнетитовых кварцитов на ПГОКе и НКГОКе – до 38-40%.

Прямоточные сепараторы широко используются при обогащении сливов стержневых мельниц крупностью 3(4) мм на многих фабриках США, Канады, Австралии и других странах (Минтак, Эри, Муес-Моунтин, Адамс, Гриффите, Севидж-Ривер, Оливер и т.д.). При повышенной производительности стержневых мельниц, когда крупность их слива возрастает, мельницы оснащаются барабанными грохотами (бутарами), обеспечивающими удаление из питания сепараторов частиц руды крупностью более 5(4) мм.

При повышении крупности питания сепараторов выше 5(6) мм надежность их работы снижается, что связано, в основном, с затрудненной разгрузкой грубых хвостов через

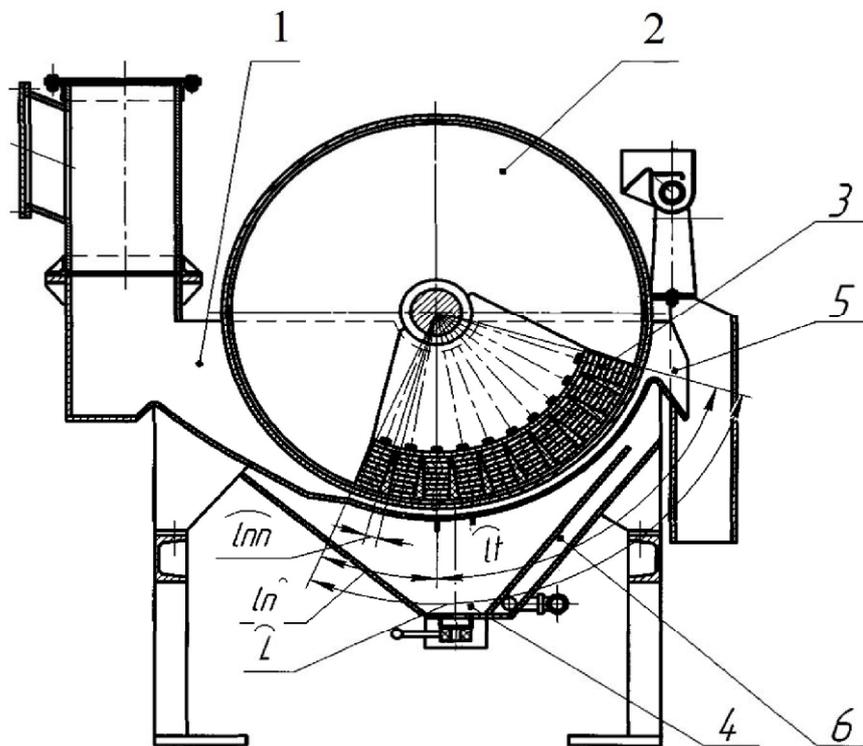
выпускные отверстия в донной части ванны. Опыт эксплуатации сепараторов показывает следующее. При обогащении руды крупностью минус 0,5 мм минимальный диаметр выпускных отверстий должен быть не менее 18-20 мм; при обогащении руды крупностью минус 3 мм – не менее 26-30 мм; крупностью минус 6 мм – не менее 40-50 мм и т.д. Увеличение диаметра выпускных отверстий уменьшает вероятность их забивания, но затрудняет поддержание постоянного уровня суспензии в ванне, даже при подаче значительного количества воды в зону разгрузки грубых хвостов.

Недостатком прямоточных сепараторов является более низкая эффективность обогащения мелких и тонких классов руды, в сравнение с другими типами сепараторов. Сравнительные испытания прямоточного и противоточного сепараторов на руде крупностью минус 0,5+0 мм показали, что прямоточный сепаратор обеспечивает получение промпродукта с массовой долей железа на 0,5-0,8% выше, чем противоточный, однако при пониженном на 4,0-5,0% извлечении железа. Испытания прямоточного и полупротивоточного сепараторов на руде крупностью минус 0,1+0 мм показали, что полупротивоточный сепаратор обеспечивает получение более богатого, на 2,0-2,5% по содержанию железа, промпродукта и при более высоком, на 4,0-5,5%, извлечении железа.

Постепенное ухудшение состава добываемой руды с одной стороны, необходимость повышения производительности РОФ и качества концентратов с другой, привели к тому, что на многих ГОКах, особенно перерабатывающих тонковкрапленные руды, был осуществлен перевод схем измельчения с варианта «стержневая+шаровая мельницы» на вариант «шаровые мельницы». Крупность слива классификаторов была доведена до 65-70% класса минус 0,071+0 мм. Для обогащения стали использовать противоточные сепараторы, обеспечивающие более высокое извлечение магнетита, чем прямоточные.

Так как потребность в прямоточных сепараторах начала снижаться, то научно-исследовательские и конструкторские работы по их совершенствованию были практически прекращены. Сепараторы нового поколения ПБМ-120/300, ПБМ-150/200 и др. были созданы и производятся только в противоточном и полупротивоточном исполнении.

Конструктивная схема серийного сепаратора ПБМ-90/250 приведена на рис.1.



Принцип работы сепаратора заключается в следующем. Суспензия исходного питания из питающего лотка равномерным потоком движется по наклонному лотку к рабочей зоне сепаратора. Скорость потока суспензии определяется углом наклона питающего лотка, который в серийных сепараторах обычно составляет 15-20°. Угол наклона и длина лотка должны обеспечивать разгон суспензии для получения достаточного запаса кинетической энергии, необходимого для преодоления гидравлического сопротивления ванны сепаратора и транспортирования суспензии к разгрузочной зоне. Из этого следует, что при более крупном исходном питании сепаратора, во избежание заиливания ванны, скорость транспортирования суспензии должна быть выше. Однако, увеличение скорости приводит к снижению времени сепарации и, как следствие, к снижению извлечения магнитных частиц.

Из питающего лотка суспензия исходного питания поступает в концентричную зону сепаратора, где происходит процесс разделения на магнитный и немагнитный продукты. Грубая часть хвостов выводится из ванны сепаратора в ее нижней части, около 6-10% суспензии с тонкими частицами выводится через переливной порог.

Следует отметить одну немаловажную деталь. В конце питающего лотка, перед концентричной зоной сепаратора, предусмотрено наличие порога, расположенного под углом около 40-45°. Поток суспензии возле порога изменяет направление движения в сторону первого полюса магнитной системы, где извлекается около 50-60% магнитного продукта. Оставшаяся часть доизвлекается, главным образом, в концентричной зоне сепаратора, до разгрузки грубых хвостов и незначительная, из шламистой фракции, в зоне от разгрузки грубых хвостов до переливного порога.

Массовая доля твердого в питании сепараторов, работающих на сливах стержневых мельниц, поддерживается на уровне 45-50%. Массовая доля твердого в подрешетном продукте схемы комбинированного предобогащения составляет около 26-34%. То есть, при равной производительности сепаратора по твердой фазе, его производительность по объему суспензии, во втором случае, возрастает почти в 2 раза, что, как следствие, приводит к снижению извлечения магнетита. Это обусловлено увеличением скорости движения суспензии в рабочей зоне сепаратора почти в 2 раза. Таким образом, главной задачей новой конструктивной схемы сепаратора является увеличение рабочей зоны сепаратора.

Для оценки параметров, определяющих качество продуктов сепарации, введем некоторые определения. Разделим длину всей рабочей зоны  $l$  (рис.1) на зону притяжения  $l_n$  и зону транспортирования промпродукта  $l_t$ , то есть  $l=l_n+l_t$ . В свою очередь зона притяжения делится на активную и пассивную части:  $l=l_{na}+l_{np}$ . Это деление обусловлено тем, что вблизи нейтральной открытой многополюсной магнитной системы с чередующейся полярностью, магнитная сила представлена в основном своей касательной составляющей, а значит на этих участках притяжение магнетита к поверхности барабана практически не происходит. Если предположить, что пассивный участок равен примерно половине зазора  $\delta$ , то общую активную длину можно определить из выражения (рис.1):

$$l_{na}=l_n-0,5n\delta;$$

где:  $n$  – число зазоров в зоне притяжения;  $\delta$  – ширина зазора.

Очевидно, что потери железа в хвостах определяются активной длиной зоны притяжения  $l_{na}$  и удельной магнитной силой  $F_m$ .

С ростом проводимости в рабочем зазоре увеличивается напряженность магнитного поля и перераспределяется общий магнитный поток. Уменьшение потока рассеивания может быть достигнуто установкой между основными полюсами дополнительных небольших полюсов, которые монтируют так, чтобы полярность прилегающих сторон основных и дополнительных полюсов была одинаковой (рис.2).

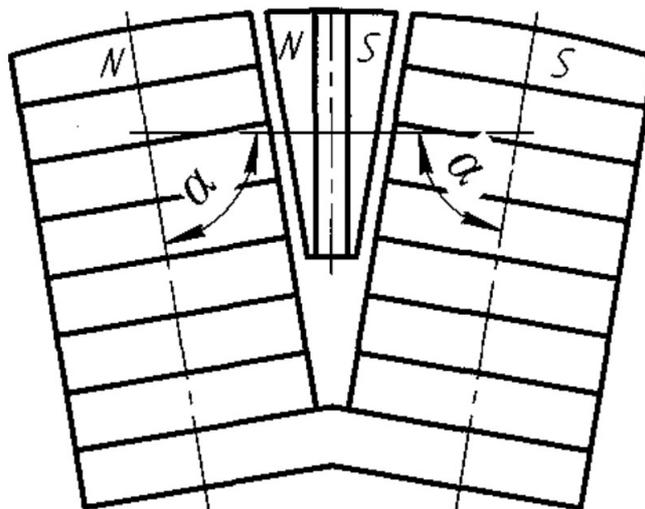


Рис. 2– Схема наложения магнитных полей

Для магнитных полей соблюдается принцип суперпозиции: при наложении нескольких магнитных полей, имеющих напряженности  $H_1, H_2, H_3, \dots H_i$ , напряженность результирующего поля  $H$  равна геометрической длине напряженностей складываемых полей, т.е  $H = \sum^n H_i$ .

Если происходит сложение двух полей, то  $\dot{H} = \dot{H}_1 + \dot{H}_2$ : где:  $\dot{H}_1, \dot{H}_2$  - напряженность поля соответственно основного и дополнительных полюсов.

Известно, что абсолютное значение вектора напряженности результирующего поля составляет:

$$H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 - 2H_1H_2 \cos \alpha};$$

где:  $\alpha$  – угол между векторами  $H_1$  и  $H_2$ .

Расчеты показывают, что при  $H_1=120$  и  $H_2=60$  кА/м  $H=113$  кА/м. При некотором снижении напряженности поля длина активной зоны возрастает в 1,5 раза. Однако увеличение длины активной зоны в 1,5 раза не компенсирует увеличение скорости течения пульпы в 2 раза.

Наиболее рациональным способом увеличения активной зоны сепаратора является увеличение полюсов от 3 до 8, установка разрыхлителя пульпы и изменение конфигурации ванны. Конструктивная схема сепаратора ПБМ-90/250 с удлиненной зоной извлечения приведена на рис. 3.

Исходное питание поступает в приемную коробку, заполняя ее по длине, а затем направляется в питающий лоток сепаратора. Скорость течения пульпы здесь достигает максимального значения и при достижении разрыхлителя направления течения пульпы, резко изменяется. Пульпа движется в сторону магнитов, где происходит извлечение магнетита. Следует отметить, что установка дополнительных полюсов между основными магнитами, способствует извлечению магнетита.

Новая конструктивная схема прямооточного сепаратора была передана на ОАО «Рудгормаш», где была изготовлена опытная модель нового сепаратора ПБМ-120/300. Данная модель сепаратора была смонтирована на I секции I полусекции Стойленского ГОКа.

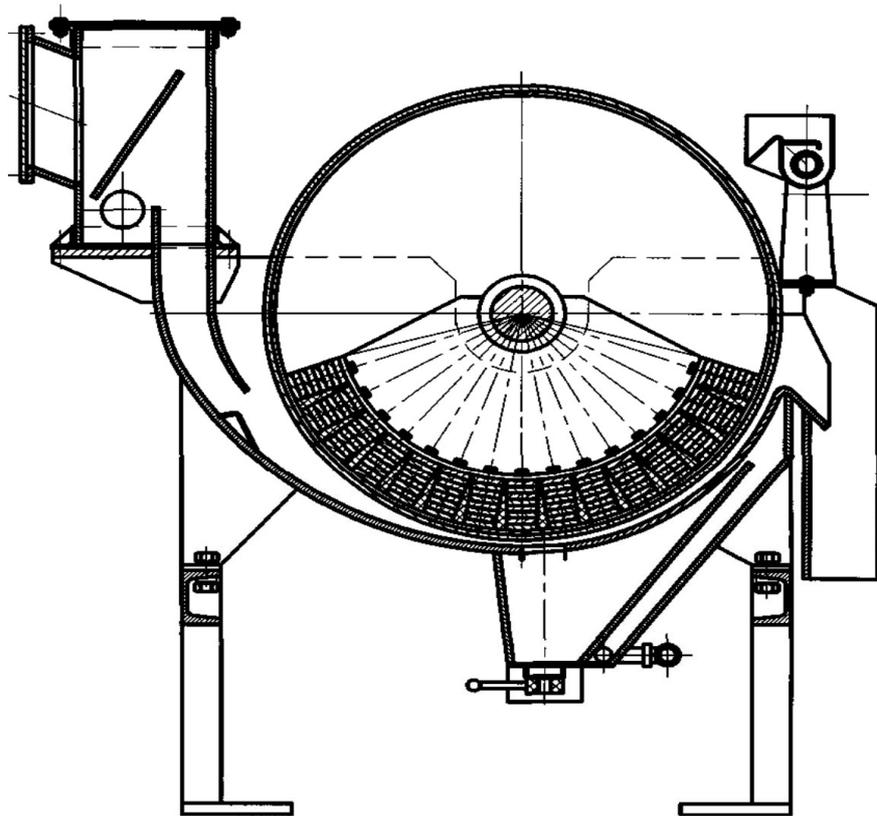


Рис. 3– Конструктивная схема сепаратора ПБМ-90/250 с прамоточной ванной и удлиненной зоной извлечения

Схема включала в себя следующее оборудование. Грохот ГИСТ-72, оснащенный верхним ситом с размером ячеек  $8 \times 8$  мм и нижним –  $3 \times 3$  мм. Класс  $-16+3$  мм поступал на двухбарабанный сепаратор 2ПБС 90/250. Массовая доля влаги в питании СМС не превышала 3,5-4%, что не вызывало затруднений в процессе обогащения. Подрешетный продукт крупностью минус  $3+0$  мм поступал на сепаратор новой конструкции ПБМ-120/300. Промпродукты сепараторов ПБС и ПБМ поступали в мельницу I стадии. Для сравнения на второй полусекции в мельницу I стадии поступала исходная руда. Схемы с результатами сравнительных испытаний приведены на рис.4 и 5.

Результаты сравнительных испытаний показали следующее: использование операции комбинированного предобогащения дробленой руды позволяет увеличить массовую долю  $F_{\text{общ}}$  в промпродукте I стадии ММС на 7,2% и  $F_{\text{мг}}$  на 8,5%. Повышенное содержание  $F_{\text{общ}}$  и  $F_{\text{мг}}$  в схеме с предобогащением обусловлено выводом из питания мельницы 14,6% по выходу щебня и грубозернистых хвостов содержащих 11,4 и 12,1%  $F_{\text{общ}}$  и 1,4 и 0,8%  $F_{\text{мг}}$ .

### I секция I полусекция

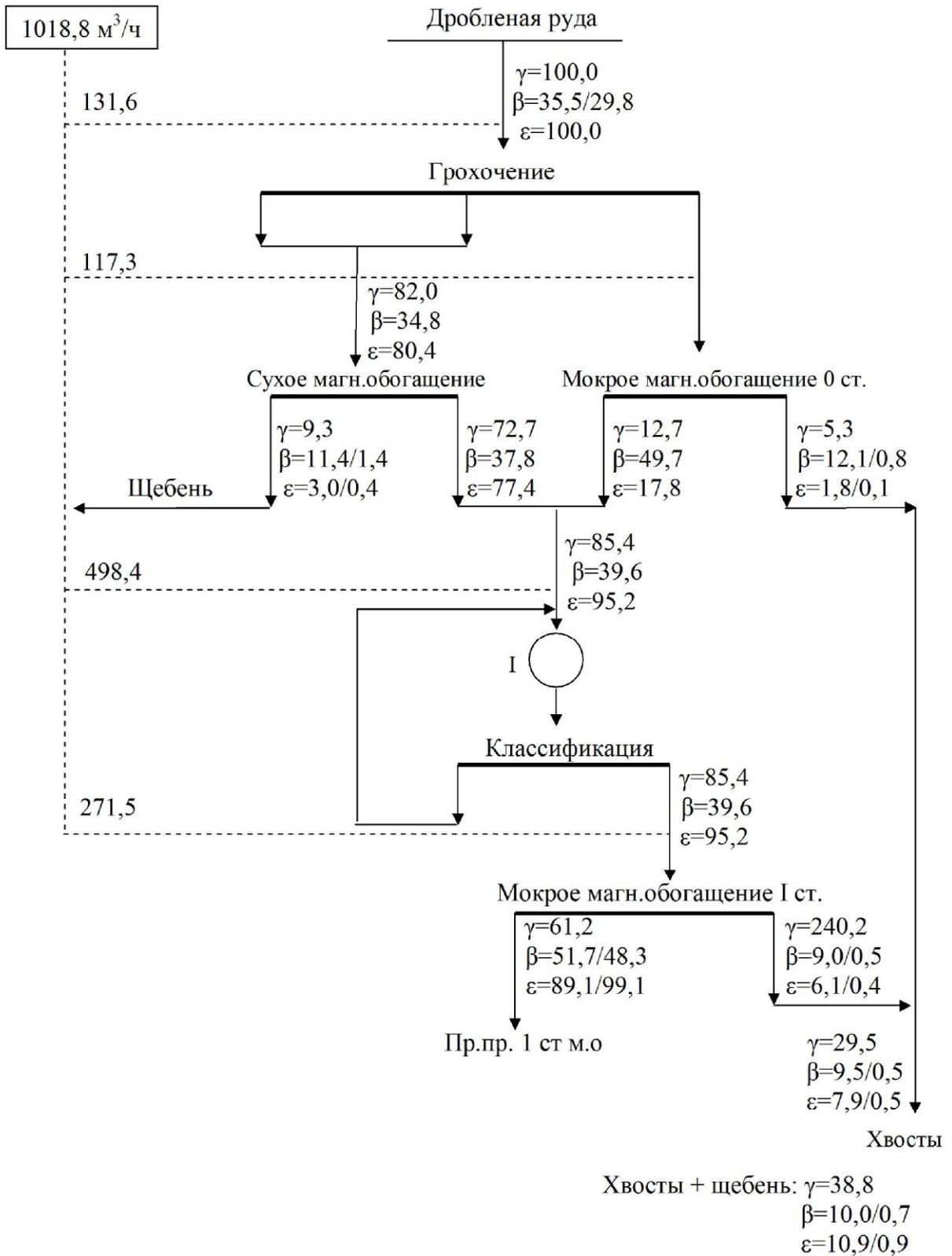


Рис. 4— Схема комбинированного предобогащения руды на I секции I полусекции СГОКа

## I секция II полусекция

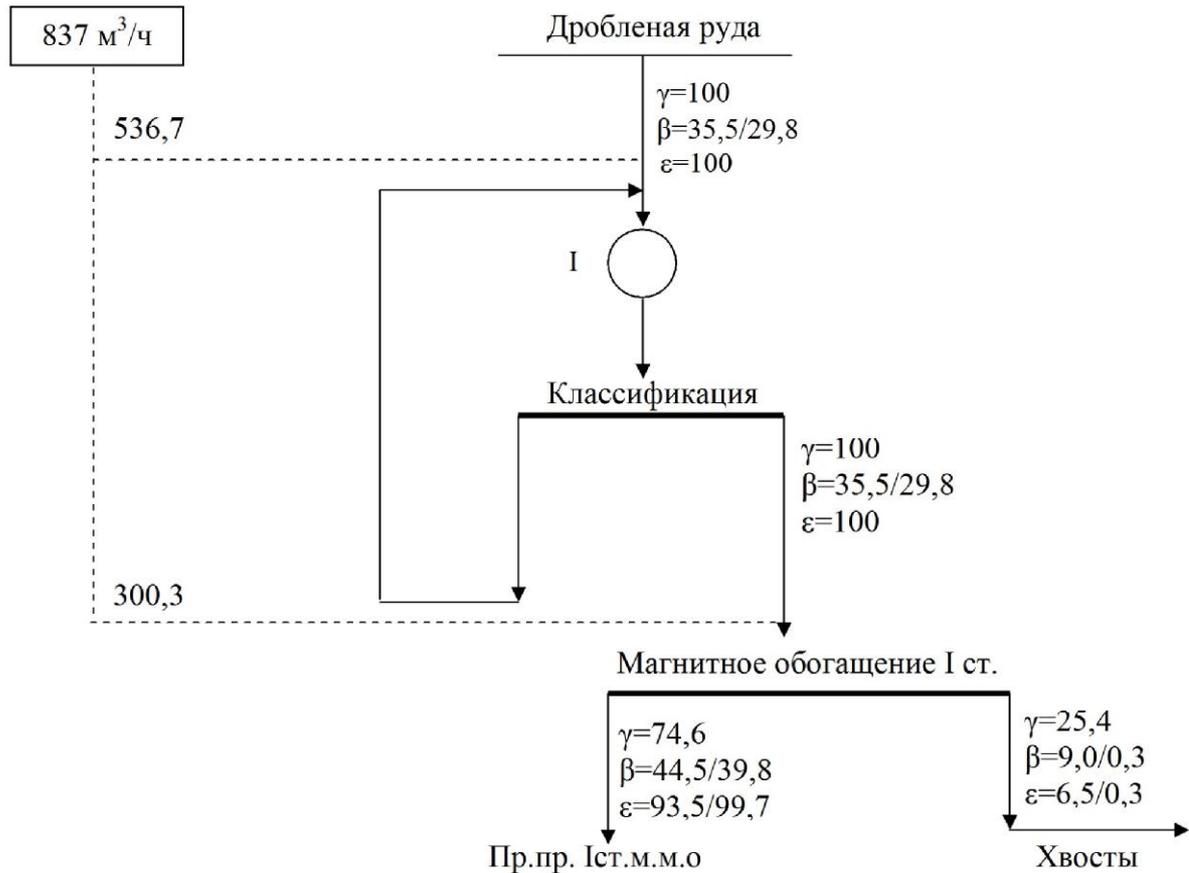


Рис. 5– Схема I стадии измельчения на I секции II полусекции СГОКа

Установленный в схеме предобогащения сепаратор с удлиненной зоной извлечения подтвердил высокую селективность разделения руды широкого диапазона крупности, что обеспечило повышенное извлечение магнитных частиц в промпродукт.

### ВЫВОДЫ

Разработана конструктивная модель прямоточного сепаратора ПБМ-120/300 с удлиненной зоной извлечения. Данный сепаратор был смонтирован на I секции Стойленского ГОКа. Промышленные испытания данной модели сепаратора, на классе крупности минус 3+0 мм, подтвердили то, что данный сепаратор обеспечивает получение высокого извлечения магнетита в промпродукт. Потери извлечения по магнетиту составили всего 0,1%.