

УДК 622.7

А.С. КИРНАРСКИЙ, д-р техн. наук
(Германия, фирма "Инжиниринг Доберсек ГмБХ")**НЕОБХОДИМОСТЬ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
СГУЩЕНИЯ ХВОСТОВОЙ ПУЛЬПЫ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ГОКов**

Необходимость сгущения хвостовой пульпы современных железорудных ГОКов обусловлена огромными объемами перекачиваемой пульпы, мизерным содержанием твердого в ней, высокой дисперсностью частиц твердой фазы, большими диаметрами хвостовых пульпопроводов, острым дефицитом земли, отчуждаемой под хвостохранилища. Сказанное подтверждается данными таблицы 1, в которой приведены объемы и свойства хвостовой пульпы некоторых железорудных комбинатов Украины.

Таблица 1

Объемы и характеристики хвостовой пульпы
железорудных комбинатов Украины

| Наименование комбината | Объем хвостовой пульпы, м ³ /ч | Содержание твердого, % | Крупность частиц, (выход кл. -50 мкм, %) |
|-------------------------------------|---|------------------------|--|
| Полтавский ГОК: | | | |
| ОФ-1 | 18 500 | 3,5 | 89,6 |
| ОФ-2 | 21 400 | 6,0 | 82,6 |
| Итого | 39 900 | 4,8 | 86,1 |
| ЮГОК: | | | |
| ОФ-1 | 23 575 | 5,0 | 73,7 |
| ОФ-2 | 24 936 | 6,0 | 73,7 |
| Итого | 48 514 | 5,5 | 73,7 |
| ИнГОК: | | | |
| РОФ-1 | 45 600 | 3,3 | 63,5 |
| РОФ-2 | 38 200 | 3,3 | 80,2 |
| Итого | 83 800 | 3,3 | 71,1 |
| СевГОК: | | | |
| РОФ-1 | 61 868 | 3,62 | 87,7 |
| РОФ-2 | 22 191 | 3,35 | 87,7 |
| Итого | 84 234 | 3,53 | 87,7 |
| НКГОК: Арселор Миттал РОФ-1,2 | | | |
| Итого | 35 802 | 7,5 | 85,0 |

Количество и характеристики шламовых продуктов по стадиям обогащения руды проследим на примере Ингулецкого горно-обогатительного комбина-

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

та, для чого приведемо об'єми, розжиженість і гранулометричний склад різних хвостів обогачення залізної руди на першій, другій і третій стадіях технологічної схеми даного підприємства (табл. 2).

Таблиця 2

Основні характеристики хвостів обогачення в умовах ІнГОКа

| Продукти обогачення | Q, т/час | Вихід, % | Содержание твердого, % | Объем, м ³ /ч | Массовый выход классов крупностью, мм: | | | | | | | | D _{cp} , мм | V _{cp} , мм/сек |
|------------------------------|----------|----------|------------------------|--------------------------|--|---------|----------|-----------|-----------|------------|------------|--------|----------------------|--------------------------|
| | | | | | >3,0 | 1,0-3,0 | 0,56-1,0 | 0,28-0,56 | 0,14-0,28 | 0,071-0,14 | 0,05-0,071 | <0,050 | | |
| Хвосты I стадии ММС I пр. | 78,50 | 58,02 | 17,00 | 405,38 | 0,0 | 1,60 | 5,20 | 11,90 | 9,20 | 10,60 | 5,50 | 56,00 | 0,170 | 24,39 |
| Хвосты I стадии ММС II пр. | 9,70 | 7,17 | 4,60 | 203,90 | 0,0 | 0,70 | 3,80 | 7,00 | 6,00 | 11,00 | 6,20 | 65,30 | 0,117 | 8,20 |
| Хвосты II стадии ММС | 18,30 | 13,53 | 10,40 | 162,82 | 0,0 | 0,00 | 0,30 | 3,40 | 7,40 | 10,80 | 5,80 | 72,30 | 0,065 | 2,52 |
| Хвосты III стадии ММС I пр. | 4,20 | 3,10 | 1,90 | 218,04 | 0,0 | 0,00 | 0,10 | 2,20 | 9,50 | 23,30 | 6,00 | 59,00 | 0,073 | 3,57 |
| Хвосты III стадии ММС II пр. | 2,70 | 2,00 | 1,30 | 205,75 | 0,0 | 0,00 | 0,10 | 1,80 | 9,20 | 22,00 | 5,30 | 61,60 | 0,069 | 2,55 |
| Хвосты IV стадии ММС | 4,20 | 3,10 | 2,90 | 141,81 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,30 | 3,80 | 2,10 | 93,70 | 0,029 | 0,24 |
| Хвосты V стадии ММС I пр. | 1,00 | 0,74 | 0,60 | 165,95 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 2,90 | 4,50 | 92,40 | 0,029 | 0,24 |
| Хвосты V стадии ММС II пр. | 0,50 | 0,37 | 0,30 | 166,31 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,20 | 2,80 | 4,40 | 92,60 | 0,029 | 0,24 |
| Слив дешламаторов I ст | 15,20 | 11,23 | 2,20 | 679,99 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,20 | 3,00 | 4,60 | 92,10 | 0,029 | 0,24 |
| Слив дешламаторов II ст | 1,00 | 0,74 | 0,20 | 499,28 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,20 | 3,50 | 2,60 | 93,60 | 0,029 | 0,24 |
| Итого | 135,3 | 100,00 | | 2849,22 | | | | | | | | | | |

Из приведенной таблицы следует, что объем хвостовой пульпы по секциям ІнГОКа по первой стадии измельчения и гидрокласификации составляет 609,3 м³/ч при содержании твердого 13,1%, по второй стадии – 1284,0 м³/ч при содержании твердого 3,08% и по третьей стадии – 847,35 м³/ч при содержании твердого 0,85%. Расчеты показывают, что на первых стадиях в хвосты попадают относительно крупные зерна, среднединамический диаметр которых достигает 0,17 и 0,117 мм. Скорость осаждения таких зерен относительно высокая и равна соответственно 24,39 и 8,2 мм/сек. После второй стадии крупность снижается на порядок, а после третьей стадии – на два порядка. Такое соотношение седиментационных характеристик различных хвостов железорудных ГОКов наглядно проявляется при проведении исследований по сгущению этих продуктов в стеклянных цилиндрах по методике Коу-Клевенджера [2] и в пилотных сгустительных установках, когда вначале наблюдается лавинообразное осаждение диспесных частиц с образованием осадка и мутного слоя, осветление которого протекает весьма продолжительное время и требует повышенного расхода флокулянта на уровне 20-30 г/т. Такое явление объясняется тем, что при обработке хвостовой пульпы в сгустительных устройствах протекает одновременно два

Зневоднення та сугіння. Водно-шламове господарство

процесса: осветления и сгущения суспензии. Параметры сгущения, установленные в полупромышленных условиях на стендовых динамических осветлительных установках сведены в таблицу 3.

Таблица 3

| Параметры сгущения хвостовой пульпы железорудных ГОКов | | | |
|--|-------|--------|-------|
| Параметры сгущения | ИнГОК | СевГОК | ЮГОК |
| 1. Содержание твердого: | | | |
| – питание, % | 3,3 | 4,0 | 5,0 |
| – сгущенный продукт, % | 55-70 | 50-60 | 60-70 |
| – слив, мг/л | 150 | 150 | 150 |
| 2. Удельная нагрузка, т/(м ² ·ч) | 0,23 | 0,46 | 0,45 |
| 3. Удельная площадь сгущения, (м ² ·ч)/т | 4,35 | 2,17 | 2,22 |
| 4. Напряжение сдвига*, Па | 25 | 20 | 23 |
| 5. Скорость восходящего потока, м/ч | 7,2 | 13,5 | 12,2 |
| 6. Тип флокулянта | М 338 | М 338 | М 338 |

* при содержании твердого в сгущенном продукте – 50%

Исследования показывают, что в условиях высокоскоростного сгущения (HRT) наблюдается низкий уровень постели, степень уплотнения которой соответствует термодинамическому и седиментационному равновесию системы на границе раздела зон осветленной жидкости и сгущенного осадка. Такое состояние равновесной системы характеризуется равенством скоростей седиментации и диффузии ультратонких частиц дисперсной фазы, так как сила тяжести уравновешена силами диффузии, при этом через единичную поверхность в единицу времени оседает столько же частиц, сколько их увлекается вверх диффузионным потоком. Согласно проведенным исследованиям указанное содержание твердого в зоне уплотнения осадка составляет 60-70%. Этот режим является оптимальным для достижения заданной чистоты слива (< 150 мг/л), так как отражает условия седиментационно – диффузионного массопереноса и достижения термодинамического равновесия. Получение меньшей плотности сгущенного продукта приводит к увеличению уровня постели и, как следствие, нарушению равновесия системы, в результате чего сокращается зона осветленной жидкости и при значительной объемной нагрузке это сопровождается загрязнением слива сгустителя.

Так как для условий гидротранспорта и последующего складирования сгущенных хвостов в хвостохранилище оптимальное содержания твердого составляет 40-50%, то рекомендуется сгущенный продукт сгустителей плотностью 55-70% разбавлять частью исходной пульпы в зумпфе объединенной пульпонасосной станции (ОПНС), для чего коробка распределения исходной пульпы оборудуется дополнительным трубопроводом с расходомером электромагнитного типа, управление которым осуществляется в цепи обратной связи с плотномером на напорном пульпроводе из ОПНС. Это оправдывает себя технологически из-за снижения нагрузки на сгустительное отделение. Например, в

умовлях ЮГОКа, таке скорочення нагрзуки равно 2358,4 м³/ч по пульпе или 107 т/ч по твердому. Выгодно таке решение и экономически: для условий ЮГОКа расход флокулянта ежегодно снижается на 25 т, а затраты на флокулянт понижаются на 2 млн грн в год. Таким образом, *первое технологическое условие эффективного сгущения хвостовой пульпы* состоит в поддержании сложившегося равновесия на границе раздела осветленной зоны и зоны сгущенного продукта. Последний разбавляется исходной хвостовой пульпой до содержания твердого 40-50%, оптимального для его гидротранспорта в хвостохранилище непосредственно в зумпфе ОПНС.

Второе технологическое условие – оптимальное содержание твердого в питании сгустителей, которое для железорудных ГОКов колеблется в пределах от 4 до 6%. Для разбавления исходной хвостовой пульпы рекомендуется использовать системы авторазбавления, которые стали атрибутом современных высокопроизводительных сгустителей или направлять осветленную часть оборотной воды в загрузочный колодец сгустителя [3]. Для уплотнения исходной пульпы рекомендуется вспомогательными насосами подавать часть сгущенного продукта в питание сгустителя. Другой путь решения этой проблемы – технологический, за счет реорганизации водно-шламового хозяйства, при которой хвосты мокрой магнитной сепарации пятой и/или четвертой стадий возвращаются в оборот без осветления, в результате чего содержание твердого в оставшемся объеме хвостовой пульпы повышается до необходимого уровня.

Третье технологическое условие – экономичный режим приготовления и дозирования флокулянта. Для получения рабочего раствора исходный порошок сначала растворяется в чистой воде до 1 или 0,5%-ной концентрации, а затем оборотной водой разбавляется до заданной 0,05%-ной концентрации, в результате чего резко сокращается расход чистой воды.

Рентабельность сгустительного передела во многом зависит от способа подачи исходной хвостовой пульпы в сгустители. В условиях Ингулецкого ГОКа ежегодно в наружные гидроотстойники сбрасывается 666,40 млн м³ хвостовой пульпы. Учитывая динамику увеличения объема хвостовой пульпы по данному предприятию до 790,15 млн м³/год, следует считаться с общим объемом потребной для этого электроэнергии на уровне 489,104 млн кВт·ч/год, что обуславливает годовые эксплуатационные затраты по статье "электроэнергия" не менее 17,97 млн евро.

При таких объемах хвостовой пульпы рентабельность ее сгущения в значительной мере определяется способом подачи хвостов в сгустительные установки. Различают два характерных варианта подачи исходной пульпы: напорный и самотечный. В первом случае необходимо подать низконапорными насосами весь объем хвостовой пульпы минимум на 10-12 м, что сопряжено с затратами электроэнергии порядка 65 млн кВт·ч/год или в денежном выражении

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

2,36 млн євро. Последующее сгущение с использованием флокулянта типа Магнафлок 338 и перекачка слива в оборот, а сгущенных хвостов в наружный гидротвал сопряжено с эксплуатационными затратами на уровне 8,57 млн євро. Всего с учетом предварительной подачи пульпы на сгустители издержки по осветлению и гидротранспорту хвостовой пульпы достигают 10,93 млн євро.

При напорной подаче хвостовой пульпы сгустители предпочтительнее сооружать на насыпном основании, так называемой "подушке из горных пород", что обеспечивает надежность и большую доступность для целей текущего ремонта, а также равномерное распределение нагрузки по площади основания при условии качественной трамбовки породной подушки, но недостаток такого решения состоит в том, что незаглубленное строительное сооружение не обеспечивает сохранение температурного режима, что особенно важно зимой. Кроме того, при напорной подаче хвостовой пульпы в количестве 90 тыс. м³/час на сгустители следует считаться с необходимостью строительства новой и/или реконструкции существующей пульпонасосной станции, что сопряжено со значительным возрастанием капитальных и эксплуатационных затрат.

Во втором, самотечном, случае затраты на перекачку слива в оборотный цикл ОФ и сброса сгущенного до 35% твердого продукта в хвостохранилище составляют соответственно 4,31 и 1,95 млн євро, а с учетом затрат на флокулянт при максимально возможном его расходе 25 г/т общие издержки на обработку хвостов равны 8,57 млн євро. Самотечная схема осветления хвостов в условиях железорудных ГОКов практически осуществима при установке сгустителей диаметром 50 м, которые обеспечивают высокую производительность и эффективность сгущения, а также лучше komponуются с хвостовыми лотками и пульпонасосным оборудованием. Радиальные сгустители здесь заглубляются, что обеспечивает сохранение температурного режима. Ремонтопригодность технологического оборудования достигается за счет проходных тоннелей.

При выборе оптимального содержания твердого в сгущенной хвостовой пульпе руководствуемся условиями последующего ее гидротранспорта и складирования. Чрезмерное уплотнение суспензии более 50%, сопряжено с уменьшением диаметра напорного трубопровода, что приводит к увеличению потерь напора в нем, а при диаметре менее 350 мм следует предусмотреть мероприятия, направленные на предотвращения перемерзания и посадки трубопровода в зимний период времени. Кроме того, сгущенный продукт при содержании твердого 50% имеет напряжение сдвига на уровне 20-25 Па, при которой наблюдается хорошая растекаемость данного продукта при его укладке в ложе хвостохранилища.

Выводы

1. Сгущение хвостовой пульпы на железорудных горно-обогатительных предприятиях Украины является необходимостью из-за значительных объемов хвостовой пульпы и высоких энергозатрат на ее гидротранспорт в хвостохранилище, низкого содержания твердого и высокой дисперсности частиц твердой

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

фазы пульпы, а также отчуждения плодородных земель под строительство новых хвостохранилищ.

2. В условиях высокоскоростного сгущения наблюдается седиментационно – диффузионное равновесие на границе раздела зон осветления и уплотнения твердого осадка, что определяет высокую чистоту слива. Для разбавления сгущенного осадка в зумпфе ОПНС предпочтительнее использовать часть исходной хвостовой пульпы.

3. Для эффективного осветления хвостовой пульпы оптимальное значение содержание твердого в питании сгустителей должно быть в пределах от 4 до 6%.

4. Рабочий раствор флокулянта готовится в следующей последовательности: промежуточный раствор при ограниченном объеме свежей воды и последующее его разбавление оборотной водой до заданной концентрации.

5. Рентабельность сгустительных отделений во многом определяется способом подачи исходной хвостовой пульпы в сгустители. Самый экономичный метод подачи хвостов – самотечный.

Список литературы

1. Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2005. – Т.1. – 669 с.

2. Сое H.S., Clevenger G.H. Determination Thickener Areas // Trans. AIME. – 1916. – vol. 44, №3. – P. 336-384.

3. Кирнарский А.С. Обогащение каменного угля на фабрике "Варндт" // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2003. – Вып. 17(58). – С. 18-21.

© Кирнарский А.С., 2017

*Надійшла до редколегії 18.09.2017 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*