

**А.С. КИРНАРСКИЙ**, д-р техн. наук  
(Германия, фирма "Engineering Dobersek GmbH")

## РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ СГУЩЕНИЯ ХВОСТОВОЙ ПУЛЬПЫ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ УКРАИНЫ

Технологическая особенность горно-обогатительных комбинатов Украины состоит в применении магнитного обогащения в качестве основного процесса разделения железистых кварцитов, при этом одно из наиболее важных преимуществ данной технологии заключается в минимальном экологическом ущербе, в частности возможности полного водооборота [1], при этом как никогда актуален внутрифабричный полный водооборот при условии сооружения сгустительных отделений.

Необходимость сгущения хвостовой пульпы современных железорудных ГОКов обусловлена значительными объемами перекачиваемой пульпы, мизерным содержанием твердого в ней, высокой дисперсностью частиц твердой фазы, большими диаметрами пульпопроводов, 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 <sup>3</sup> /ч	Содержание твердого, %	Выход класса -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

## Економіка

Количество и характеристики шламовых продуктов по стадиям обогащения руды проследим на примере Ингулецкого горно-обогатительного комбината, для чего приведем объемы, разжиженность и гранулометрический состав различных хвостов обогащения железной руды на первой, второй и третьей стадиях технологической схемы данного предприятия (табл. 2).

Таблица 2

Основные характеристики хвостов обогащения в условиях ИнГОКа

Продукты обогащения	Q, т/час	Выход, %	Сод.тв. %	Объем, м <sup>3</sup> /ч	Массовый выход классов крупностью, мм								D <sub>ср</sub> , мм	V <sub>ср</sub> , мм/с
					>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	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	2,80	4,40	92,60	0,029	0,24
Слив дешламоторов I ст	15,20	11,23	2,20	679,99	0,00	0,00	0,00	0,10	0,20	3,00	4,60	92,10	0,029	0,24
Слив дешламоторов II ст	1,00	0,74	0,20	499,28	0,00	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 ИнГОКа по первой стадии измельчения и гидроклассификации составляет 609,3 м<sup>3</sup>/ч при содержании твердого 13,1%, по второй стадии – 1284,0 м<sup>3</sup>/ч при содержании твердого 3,08% и по третьей стадии – 847,35 м<sup>3</sup>/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/с. 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 25-30 г/т. Такое явление объясняется тем, что при обработке хвостовой пульпы в сгустительных устройствах протекает одновременно два процесса: осветления и сгущения суспензии. Специфическая особенность хвостовой пульпы железорудных ГОКов состоит в том, что скорость первого про-

цесса на порядок выше, чем скорость второго. Исследования на натуральных пробах хвостовой пульпы Полтавского, Ингулецкого и Северного горно-обогатительных комбинатов показали, что скорость восходящего потока осветленной суспензии, отражающая процесс осветления, составляет 0,0016-0,002 м/с, в то время как скорость осаждения сфлуктуирующей взвеси, отражающая собственно процесс сгущения, достигает 0,018-0,02 м/с. Естественно, что при назначении потребной площади сгустительных устройств примат отдается меньшей скорости и в этой связи важно определиться с требуемой чистотой слива. Достижение "стерильного" слива при содержании твердого на уровне 150 мг/л технологически возможно, но экономически значительно удорожает технологию сгущения хвостовой пульпы, поэтому здесь уместно поднять загрязнение слива до технологически безопасного уровня с точки зрения эксплуатации магнитных сепараторов и флотомашин, который равен 500 мг/л, что подтверждается результатами специальных исследований [3], которые проводились на пилотной установке: две стадии измельчения – три стадии мокрой магнитной сепарации – сгущение хвостовой пульпы. Производительность установки по исходной железной руде была на уровне 6 т/ч. Содержание твердого в оборотной воде не превышало 600 мг/л. Количество оборотных циклов равнялось при этом 27, что достигается на железорудных горно-обогатительных комбинатах в течение 270-300 дней их работы. Накопления шлама в системе не наблюдалось, а технологические показатели оставались стабильными и не отличались от показателей в условиях нулевого цикла. Содержание железа в концентрате составляло 67%, как и при работе на обычной технической воде. Практика работы сгустительного отделения Лебединского ГОКа на базе радиальных сгустителей диаметром 50 и 100 м с центральным и периферическим приводами свидетельствует о том, что содержание твердого в сливе сгустителей составляет 500 мг/л. Таким образом, технологически безопасный уровень чистоты слива сгустителей для условий железорудных ГОКов с точки зрения рентабельности самого процесса сгущения целесообразно поддерживать на уровне 500 мг/л.

Второй фактор это объемы обрабатываемой пульпы и способы ее загрузки в сгустители. В условиях Ингулецкого ГОКа ежегодно в наружные гидроотстойники сбрасывается 666,40 млн м<sup>3</sup> хвостовой пульпы с содержанием твердых частиц 3,3% дисперсностью 64-80% кл. -0,05 мм. Учитывая динамику увеличения объема хвостовой пульпы по данному предприятию до 790,15 млн м<sup>3</sup>/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 принудительно перекачать 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 2,36 млн евро. Последующее сгущение с использованием

## **Економіка**

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

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. м<sup>3</sup>/ч 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 евро, а с учетом затрат на флокулянт при максимально возможном его расходе 25 г/т общие издержки на обработку хвостов равны 8,57 млн евро. 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. Ремонтпригодность 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, например, 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 замерзания и посадки трубопровода в зимний период времени. Кроме того, хвостовая пульпа при содержании твердого 35-50% имеет напряжение сдвига 18-25 Па, что свидетельствует о хорошей растекаемости данного продукта при его укладке в ложе хвостохранилища.

### *Выводы*

1. Сгущение хвостов на железорудных горно-обогатительных предприятиях Украины является необходимостью из-за значительных объемов хвостовой пульпы, низкого содержания твердого в ней, высокой дисперсности частиц твердой фазы и отчуждения плодородных земель под строительство новых хвостохранилищ.

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

3. Технологически безопасный уровень чистоты слива радиальных сгустителей при осветлении хвостовой пульпы составляет 500 мг/л. Получение слива чрезмерной чистоты на уровне 150 мг/л связано с неоправданными капитальными и эксплуатационными затратами

4. Содержание твердого в сгущенном продукте должно быть на уровне 35-50%, что оправдывает себя как экономически по условиям гидротранспорта, так и технологически по условиям растекания сгущенных хвостов в хвостохранилище.

### **Список литературы**

1. Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. – М.: Изд-во МГГУ, 2005. – Т.1. – 669 с.
2. Сое Н.С., Clevenger G.H. Determination Thickener Areas // Trans. AIME – 1916. – Vol. 44, №3. – P. 336 – 384.
3. Вовк Н.Е. Обратное водоснабжение и подготовка хвостов к складированию. – М.: Недра, 1977. – 150 с.

© Кирнарский А.С., 2012

*Надійшла до редколегії 15.01.2012 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*