

ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНЦЕНТРАТОВ И ОБЕЗВОЖИВАНИЕ

Вода в концентрате может присутствовать в виде водяного пара, прочно и рыхло связанной и свободной водой (капиллярной и гравитационной). К тому же, она может быть в твердом состоянии (при низких температурах), в кристаллизационном и химически связанном.

Необходимость постановки работы по оценке водоотдачи и изменения пластичности железорудных концентратов в производственных условиях при транспортировке вызвана трудностями, возникающими в практике перевозки и хранения железорудных концентратов железнодорожным и водным транспортом.

При насыпании и хранении концентрата происходит формирование его структуры (скелета, который образуют крупные частицы, соответственной насыпной плотности и порозности), которая удерживает влагу, до момента приложения статико-вибрационных нагрузок, в результате которых, происходит разрушение, образовавшегося скелета. Концентрат уплотняется в результате перестановки частиц. Насыпная плотность его увеличивается, а порозность уменьшается, гравитационная вода, заполняющая поры высвобождается и вытесняется.

Таким образом, в результате динамических воздействий концентрат разжижается, переходит в пластичное и жидко-текущее состояние и через отверстия и щели в емкости безвозвратно теряется.

Возможность разрушения структуры зависит от первоначальной насыпной плотности концентрата, от характера и интенсивности динамического воздействия.

Состояние разжижения при динамическом воздействии свойственно всем рыхлым (сыпучим) увлажненным материалам и является промежуточной фазой в процессе их уплотнения.

Если допустить, что концентрат состоит из шариков одинакового размера, то теоретически можно было бы посчитать порозность его при различных расположениях шаров. В литературных источниках по теории фильтрования наименее плотной упаковкой частиц из всех правильных расположений считается кубическая [1]. Рассчитанная порозность будет равна:

$$\Pi = 1 - \frac{\pi}{6} = 0,476$$

В качестве наиболее плотной принимается «ромбоэдрическая» упаковка, которая получается, когда уложить наиболее плотно ряд шаров на плоскости и затем такие ряды накладывать один на другой так, чтобы шары второго ряда попадали в углубления первого (рис. 1). В таком случае порозность будет равна:

$$\Pi = 1 - \frac{\pi\sqrt{2}}{6} = 0,260 \dots$$

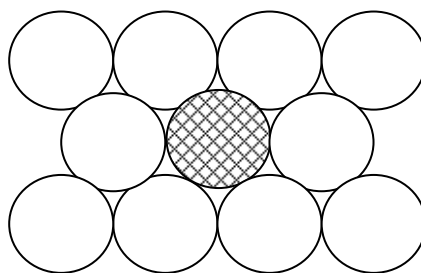


Рис. 1 – Схема ромбоэдрического расположения частиц концентрата

В кубической упаковке каждый шар соприкасается с шестью шарами. В ромбической каждый шар соприкасается с двенадцатью шарами таким же образом как это представлено на рис.

1. Заштрихованный шар граничит с шестью шарами, центры которых лежат в одной плоскости, а так же с непоказанными на рисунке тремя шарами верхнего и тремя шарами нижнего ряда. Гильдберг Д. и Кон-Фоссен С. рассматривали «тетраэдральную» укладку, при которой указанные четыре шара размещаются в верхушках тетраэдра (внутри которого расположен первый шар (рис. 2а). Рассчитанная порозность при этом равна: $P=0,660$ [2].

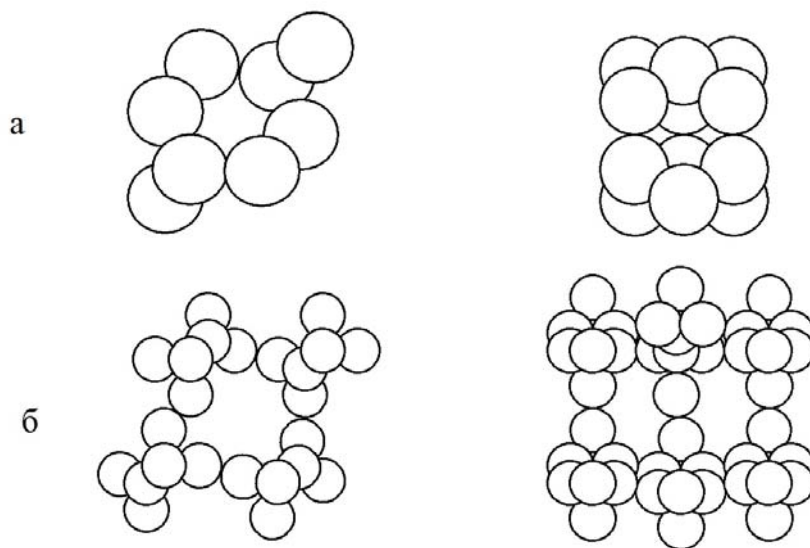


Рис. 2 – Схема тетраэдрального (разреженного) расположения частиц концентрата

По данным Михайлова Г.К. еще более разреженная укладка (рис.2) имеет порозность $P=0,876$ [3]. Это, вероятно, наибольшая порозность правильной твердой решетки одинаковых шаров, при которой шары удерживаются друг с другом (каждый шар касается четырех шаров, центры которых не лежат в одной плоскости).

Между твердыми частицами и водой существуют электромолекулярные силы взаимодействия [4]. Вода состоит из полярных молекул с ионами водорода, заряженными положительно, и ионами кислорода, заряженными отрицательно. Под действием внешнего электрического поля происходит поляризация молекул и ориентация диполей воды в электрическом поле.

Диэлектрическая постоянная твердых частиц сильно отличается от диэлектрической постоянной воды, поэтому при соприкосновении их с водой возникает электрическое поле с избыточной энергией на поверхности частиц и диполи воды притягиваются к поверхности минеральных частиц.

Силы взаимодействия проявляются на весьма близких расстояниях от поверхности частиц, от 0,25 до 0,5 микрон. Величина молекулярных сил очень большая у поверхности частиц и быстро убывает с расстоянием (несколько десятков тысяч кГ/см^2).

В результате исследований, проведенных в институте «Механобрчермет», установлено, что на величину влагоемкости и водоотдачи могут оказывать существенное влияние, при прочих равных условиях, такие факторы, как количество и минеральный состав шламистой части концентратов, форма поверхности частиц, их пористость, удельная поверхность концентрата (внешняя и полная), химический состав воды, и др [5].

Общепринятой методики по оценке способности концентратов к влагоотделению и переходу в пластичное разжиженное состояние в настоящее время не существует.

Работы по изучению физических свойств и поведению тонко-измельченных сыпучих грузов при перевозках выполнялись в институтах: Ленинградском институте водного транспорта (ЛИВТ), Центральном научно-исследовательском институте морского флота (ЦНИИМФ) и другими специализированными организациями [6, 7, 8]. Все их работы направлены на изучение физических свойств тонкозернистых материалов, механизма разжижения, причин его возникновения и способов предотвращения.

В работе установлено, что разжижение возникает при условиях: механического разрушения структуры, уплотнения концентрата, полном или близком к полному насыщению его водой [9, 20, 24].

Увлажненные рудные концентраты способны разжижаться под воздействием динамических нагрузок, причем, в момент разжижения сыпучего материала, его сопротивление сдвигу и сцепление приближаются к нулю и материал будет вести себя как жидкость.

В лабораторных условиях на компрессионном приборе сопротивление сдвигу измеряют после стабилизации усадки образца, когда вытекшая из пор вода будет выжата и процесс переуплотнения закончится. Этот момент на сдвиговом приборе при такой методике зафиксировать почти невозможно.

При исследовании процесса обезвоживания глинисто-солевых шламов Старобинского месторождения на осадительных центрифугах Кулаков Т.Т, Кубасов В.Н и другие, пришли к выводу, что ММВ является пределом обезвоживания (массовая доля класса минус 20мкм – 70%, удельная поверхность – 15м²/г, ММВ – 16-17%) [10].

В справочнике ЛИВТа указано, что массовая доля влаги в железорудном концентрате Криворожского месторождения ограничивается до 7% [11]. Во всех работах, предшествовавших справочнику, не приведено методики определения этой допустимой влаги, а если и объясняется она физическими свойствами, то недостаточно убедительно, так как цель работы несколько иная, например, характеристика их сыпучести, слеживаемости, налипания и др.

Одесским институтом инженеров морского флота (ОИИМФ) приведена методика определения нижнего предела безопасной влажности концентратов, а так же основные их физические свойства, что представляет интерес для нашей работы [7]. Установлено, что при полном насыщении влагой (более 13%) концентрат превращается в подвижную массу.

При длительном хранении (свыше 2-5 суток) в железорудном концентрате наблюдается перетекание влаги из верхних слоев в нижние, что приводит к повышению массовой доли влаги в нижних слоях на 3-5%.

При воздействии вибрации концентрат уплотняется, максимально возможная величина усадки 25-35%. Под воздействием вибрации, при массовой доле влаги свыше 7-8%, в железорудных концентратах наблюдается накапливание воды на поверхности по мере его уплотнения. Нашими исследованиями это не установлено. При влаге 11% и более происходит разжижение концентрата.

Днепропетровским горным институтом под руководством Потураева В.Н. выполнено целый ряд работ по исследованию и разработке машин для обезвоживания рудных концентратов механическим и термическим способами [17, 18, 19, 20]. Определили влияние на обезвоживание частоты вибрации, времени воздействия вибрации и ускорения [18].

Анализ показал, что влажность материала в верхнем слое была наибольшей и убывала с глубиной слоя. Однако это снижение незначительно при времени вибрации до 10 минут. Изменение ускорения от 1 до 4g и частоты от 10 до 100 герц, при том же времени вибрации к существенным изменениям не приводят. Нижнее значение массовой доли влаги колеблется в пределах 13- 13,5%.

При увеличении времени вибрации до 30-40 минут массовая доля влаги нижнего слоя снижается и стремится к своему предельному значению – 11,3-11,5%. Для снижения влажности необходимо увеличить высоту слоя.

Механизм взаимодействия измельченных частиц с твердыми поверхностями исследован в работах [12, 13, 14, 15]. Исследования продолжены ЛенморНИИпроектом. [8, 16]. Особенно детально рассмотрено взаимодействие между частицами и водой при исследовании процесса налипания.

Черевиком В.В. и Школой Н.Н. выполнена работа по исследованию физико-механических свойств магнетитовых концентратов высокой чистоты из руд Лебединского месторождения. [5] Работа выполнена для выбора средств его транспортировки. В работе приведены данные по изучению физико-механических свойств концентратов Лебединского, Ингулецкого ГОКов и цемента, таких как: истинная, насыпная плотности, угол естественного откоса, углы свободной поверхности при обрушении, компрессионные и сдвиговые характеристики и коэффициенты уплотнения (динамический и статический).

Таким образом, в настоящее время имеется уже достаточно исследований по взаимодействию частиц дисперсных материалов между собой и водой, которые могут быть

использованы при рассмотрении вопросов водоотдачи, оценки толщины пленки воды, степени подвижности, силы взаимодействия воды с поверхностью минералов.

Характеристика физико-механических свойств железорудных концентратов различных ГОКов Кривбасса и КМА по данным, полученным различными исследованиями, приведены в табл. 1, из которой видно, что некоторые данные неправильные или представлены обобщенными, усредненными. Так, например, при малой доле железа в концентрате 60,5% истинная плотность не может изменяться от 4,5 до 4,7 т/м³, а будет иметь однозначное число равное 4,4т/м³.

Таблица 1

Физико-механические свойства железорудных концентратов Кривбасса и КМА по данным различных источников

Пробы	Массовая доля железа, %	Истинная плотность (ρ _и), кг/см ³ ×10 ³	Насыпная плотность (ρ _н), кг/см ³ ×10 ³	Массовая доля влаги (W), %	ММВ, %	Капиллярная влагоемкость, %	Угол внутреннего трения, град.	Угол трения по стали, град.	Угол естественного откоса, град.	Начальное сопротивление сдвигу, ×10 ⁵ Н/м ²	Примечание
ЮГОКа	58,0	4,5-4,7	2,6	10	7,3	17,5	30-45	-	31, 43, 46	0,07-0,17	W=в/с, 2%, 8%
НКГОКа	60,5	4,5-4,7	2,6	9	7,3	17,5	33-35	-	-	0,06-0,18	
ЦГОКа	60,7	4,5-4,7	2,9	10	7,3	17,5	33-35	-	-	0,725	
ОленГОКа	61,0	4,6	2,5	-	-	-	-	-	35, 47, 59	0,148	W=1; 9,5; 8%,
КовдорГОКа	64,4	4,7	2,09	-	-	-	-	-	42	-	
ОленГОКа (супер)	70,0	5,1	2,09-2,94	-	-	-	29-30	20	34-44	0,1-0,13	
ИнГОКа	65,2	4,77	2,03-2,72	-	-	-	27-29	19	32-41	0,2-0,28	

При обезвоживании показателем, характеризующим предел массовой доли влаги в сыпучем материале, которую не возможно удалить без термического воздействия может являться максимальная молекулярная влагоемкость (ММВ). По А.Ф. Лебедеву ММВ соответствует влажности грунта при предельном количестве связанной воды, удерживаемой молекулярными силами грунтовых частиц [23].

В работе исследована зависимость (ММВ) концентратов Кривбасса от величины удельной поверхности [9]. Эта зависимость рекомендована для оценки работы вакуумфильтров на обогатительных фабриках и имеет вид:

$$W_{\text{ММВ}}=a+b\ln S_{\text{в}}+c(\ln S_{\text{в}})^2,$$

где $S_{\text{в}}$ – внешняя удельная поверхность, м²/кг;
 $a=40,25$, $b=8,89$, $c=-0,29$ — математические коэффициенты, полученные экспериментальным путем.

Опыты обезвоживания концентратов при статическом и статико-вибрационном воздействии показал, что влажность концентрата находится в зависимости от удельного давления при этом величина конечной влажности стремится к своему предельному значению (8-10% по отношению к сухому материалу, 7-9% по отношению к влажному). В проведенной работе так же установлено, что увеличение удельного давления более $150-200 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$ нерационально, так как снижение влажности в этом случае происходит весьма незначительно [9]. Так, при значении удельного давления $500 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$ она составила 7%.

Термический метод обезвоживания, с применением в качестве внутреннего источника тепла переменного электрического тока, по их данным, позволяет снижать массовую долю влаги в концентрате от 10-13,5 до 7-9,5% [19]. Потери тепла в окружающую среду минимальны ввиду

ввода тепловой энергии в среднюю часть объема концентрата. Расход электроэнергии зависит от исходной и конечной влажности концентрата. На основании исследований проведенных ДГИ, можно сделать вывод, что наиболее эффективным является статико-вибрационное и электротермомеханическое обезвоживание.

Всесоюзным заочным машиностроительным институтом (ВЗМИ) изготовлена статико-вибрационная установка для обезвоживания фосфоритных руд и концентратов, которая внедрена на Производственном объединении «Аппатит» [21]. Из промышленных исследований следует, что остаточная влага фосфорных руд и концентратов может достигать 10-12%. Установлено, что фосфорные руды обезвоживаются эффективнее концентратов.

Таким образом, в заключение следует сказать, что ни в одной из рассмотренных работ не разработана методика оценки водоотдачи и изменения пластичности железорудных концентратов. Хотя такая методика должна базироваться на физических свойствах концентратов, которые в большинстве случаев довольно детально исследованы и характеризуют водоотдачу при изменении условий испытаний и при различной насыщенности образцов влагой. Ни одна из рассмотренных работ по разработке методики не завершена. Следовательно, для разработки методики оценки водоотдачи и изменения пластичности железорудных концентратов необходимо детально изучить комплекс физико-механических и физико-химических свойств и установить, какие основные физические свойства характеризуют водоотдачу концентратов. Наши наблюдения показали, что таким свойством является удельная поверхность.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод.- М., 1952.
2. Гильдберг Д и Кон-Фоссе Н.С. Наглядная геометрия.- М.: Гостехиздат, 1951.
3. Михайлов Г.К. К геометрии фиктивного грунта // Горная математика и механика. Т. XVI, вып.4, 1952.
4. Цытович Н.А. Механика грунтов.- М.: Изд лит. по стр. и арх., 1951.
5. Исследования физико-механических свойств магнетитового концентрата высокой чистоты из руд Лебединского месторождения: Отчет. /Рук. В.В. Черевик, Н.Н. Школа. -Кривой Рог, Механобрчермет, 1971.- 23с.
6. Центральный научно-исследовательский институт морского транспорта // Труды Центрального научно-исследовательского института морского флота. - 1966.- Вып. 70.
7. Разработка технологии и правил перевозки новых для морского транспорта грузов: Отчет №396. ОИИМФ. - Одесса, 1969.
8. Исследование свойств навалочных грузов, влияющих на проектирование и условия эксплуатации перегрузочных машин: Отчет №8253. ЛенморНИИпроект, 1965.
9. Разработка методики оценки водоотдачи и изменения пластичности железорудных концентратов при транспортировке: Отчет/ Рук. Доценко В.Д.- Кривой Рог, Механобрчермет. 1975.
10. Кулаков Т.П., Кубасов В.А., Черкез Г.С., Авилов В.Н. Исследование процесса обезвоживания глинистосолевых шламов Старобинского месторождения на осадительных центрифугах // Прикладная химия. -1975, 48, №7, том XLVIII, С. 1491-1495.
11. Справочные материалы по физико-механическим свойствам пылевидных и порошковых грузов. ЛИВТ.- Л., 1969.- 87с.

12. Дерягин Б.В. Определение зависимости расклинивающего давления от толщины гидратных пленок воды на минеральных частицах / Современные методы исследования физико-химических свойств почв. АН СССР. -М.-Л. , 1947, вып.3, С. 128-143.
13. Дерягин Б.В., Кусаков М.М. Свойства тонких слоев жидкости и их влияние на взаимодействие твердой поверхности.// Изв. АН СССР ОМОН (серия химическая), 1936.- Вып.5.
14. Нерпин С.В., Дерягин Б.В. Поверхностные явления в механике грунтов / Исследование в области поверхностных сил: Сб.докладов.- М., АН СССР, 1961.
15. Карнаухов А.П., Киселев А.В. К теории корпускулярной структуры адсорбентов. Капиллярная конденсация и сорбционный гистерезис в зазорах между правильно упакованными шариками. - ЖФХ, 1957, т.31, вып.12.
16. Исследование свойств наволочных грузов, влияющих на проектирование и условия эксплуатации перегрузочных машин. Отчет №8684. ЛенморНИИпроект, 1965г.
17. Изыскание, исследование эффективных методов и разработка машин для обезвоживания рудных концентратов механическими и термомеханическими способами Отчет. №953 / Рук. В.Н. Потураев.- . Днепропетровск, ДГИ, 1969.
18. Лабораторные исследования обезвоживания рудных концентратов. Отчет. №953-1 / Рук. В.Н. Потураев.-Днепропетровск, ДГИ, 1968.
19. Изыскание, исследование эффективных методов и разработка машин для обезвоживания рудных концентратов механическими и термомеханическими способами Отчет. №953 / Рук. В.Н. Потураев.- Днепропетровск, ДГИ, 1970, 1971.
20. Изыскание, исследование эффективных методов и разработка машин для обезвоживания рудных концентратов механическими и термомеханическими способами. Отчет. №953 / Рук. В.Н. Потураев.- Днепропетровск, ДГИ, 1972.
21. Исследование процесса вибрационного обезвоживания фосфорных руд и концентратов и проведение промышленных испытаний виброобезвоживателя. Отчет / Рук. В.Д. Варсанюфьев. -М., ВЗМИ, 1974.- 31с.
22. Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде.- М.: Гостехиздат, 1947.
23. Лебедев А.Ф. Почвенные и грунтовые воды.- М.: Изд-во АН СССР, 1936.
24. Испытание физико-механических свойств сырой марганцевой руды, промпродуктов обогащения и концентратов. Отчет./ Рук.работы Санжаровский П.А., Доценко В.Д. - Кривой Рог, Механобрчермет, 1973.