

УДК 666.972.163(045)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ХВОСТОВ ФЛОТАЦИИ

¹М.Е. Журковский аспирант, МНС, ¹А.Н. Блазнов, д.т.н., доцент, ГНС
²И.К. Жарова д.ф.-м.н., ВНС

¹Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск

²Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ), Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики ТГУ (НИИ ПММ ТГУ), г. Томск

Изучение способов утилизации, возможностей применения и повторное использование в производстве отходов горного дела – одна из важнейших проблем экологической безопасности и экономической эффективности горнорудных предприятий [1, 2]. В связи с дороговизной ликвидации и опасностью попадания вредных горнорудных отходов в водоемы в процессе производства или вследствие аварийных ситуаций техногенного характера актуальной является задача очистки сточных флотационных вод с последующим использованием сухого осадка [3].

На горнорудных предприятиях часто для очистки сточных вод используются прудки-отстойники, при этом в процессе осаждения происходит седиментационная классификация частиц по размерам.

Наибольшую экологическую опасность из осаждаемых твердых частиц флотации представляют мелкодисперсные частицы размерами менее 50 мкм. Такие частицы устойчивы к осаждению и свободно уносятся талыми водами до 10 км (например, для рудника «Веселый», Республика Алтай [4] прослеживаются донные отложения).

В то же время извлечение и переработка минеральных мелкодисперсных твердых частиц перспективна для практического использования в производстве конструкционных материалов с улучшенными свойствами по следующим причинам: – мелкодисперсные частицы имеют более развитую удельную поверхность, что может обеспечить улучшение механического сцепления частиц и их адгезии; – тонкие фракции имеют достаточно узкий диапазон распределения по размерам, что позволяет более точно регулировать характеристики получаемых материалов с их использованием.

Седиментационные методы анализа позволяют классифицировать частицы по размерам в зависимости от времени осаждения и устанавливать их гранулометрический состав в разных временных интервалах. Метод наиболее близок к процессу осаждения проходящего в реальных прудках-отстойниках.

Целью настоящей работы, на примере отходов флотации рудника «Веселый», является исследование возможности определения гранулометрического состава седиментационным методом в процессе свободного и стесненного

гравитационного осаждения и переработки частиц хвостов флотации путем внедрения в бетон.

Большинство седиментационных методов основано на применении закона Стокса. При этом предполагается, что частицы сферические, осаждение происходит только под действием силы гравитации, то есть скорость осаждения линейна и не учитывается влияние частиц друг на друга [5, 6].

Рассматривая отходы флотации как двухфазную среду «жидкая фаза–твердые частицы», скорость осаждения частиц конденсированной фазы в поле гравитации при числах Рейнольдса $Re < 1$ (стоксовский режим течения) зависит от свойств несущей (жидкой) и конденсированной фаз и определяется по

$$\text{формуле [6]:} \quad \omega_0 = \frac{d_p^2 (\rho - \rho_c) g}{18\mu_c}, \quad (1)$$

где ω_0 , d_p – скорость и диаметр твердых частиц; g – ускорение свободного падения; ρ , ρ_c – плотность твердой и жидкой фаз соответственно; μ_c – коэффициент динамической вязкости жидкой фазы.

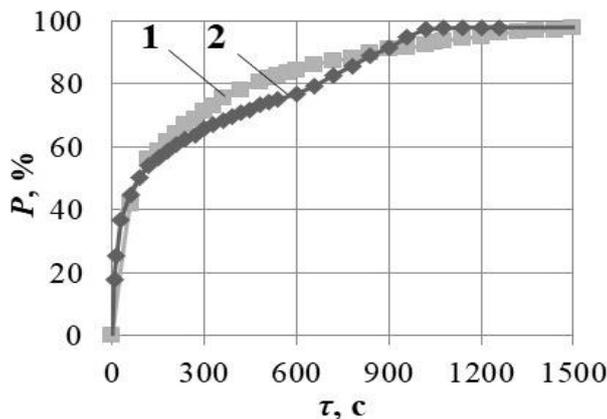
В реальных суспензиях условия протекающих процессов неидеальны. В частности, при высокой концентрации конденсированной фазы частицы осаждаются в режиме стесненного осаждения. При этом на скорость осаждения влияют их форма и физические свойства, степень шероховатости их поверхности, взаимодействие между собой и другие факторы. Образование уплотненного осадка сопровождается формированием зон стесненного и свободного осаждения [7, 8]. Поэтому стоит рассматривать стесненное осаждение исходной суспензии (взаимодействие частиц максимальное) совместно со свободным (взаимодействие частиц минимальное).

Суть метода седиментационного анализа состоит в непрерывном измерении накапливаемой массы частиц в процессе осаждения [9]. По методике седиментационного анализа, приведённого в работе [8], были получены седиментационные кривые для стесненного и свободного осаждения. Характерные кривые представлены на рисунке 1.

Для исследования свободного осаждения пробы исходных суспензий хвостов флотации были разбавлены водой до получения концентрации $(1 \div 2) \%$ твердой фазы. При стесненном осаждении исследовались пробы исходных хвостов флотации с концентрацией твердой фазы $(41 \pm 5) \%$ по массе.

Свободное осаждение (рисунок 1 кривая 1) протекает по классической схеме для полидисперсной суспензии. На кривой стесненного осаждения 2 наблюдаются две области перегиба, характерные для трех фракций частиц [9]. Полученные седиментационные кривые обрабатывали согласно методике [9].

Из формулы (1) определяли диаметр частиц, скорость осаждения рассчитывали как отношение глубины погружения чаши для измерения массы осадка к времени измерения его массы ($\omega_0 = L/\tau$). Плотность твердой фазы была установлена пикнометрическим способом ($\rho = 2780 \text{ г/см}^3$).



1 – свободное осаждение; 2 – стесненное осаждение

Рисунок 1 – Накопление массы осадка отходов флотации

Интервалы размеров частиц соотносили с массовым их содержанием P , в результате были получены диаграммы распределения частиц по размерам для свободного (а) и стесненного (б) осаждения (рисунок 2).

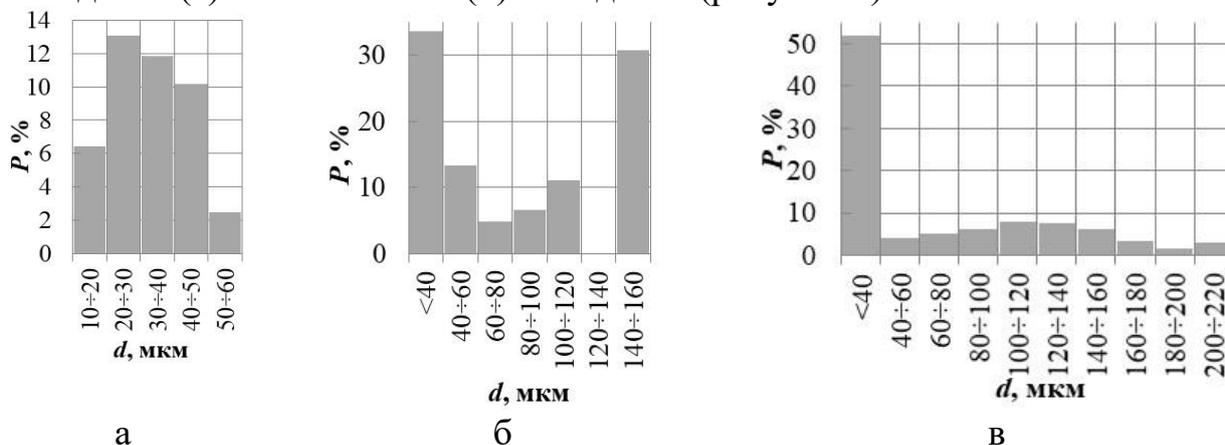


Рисунок 2 – Распределение частиц по размерам при свободном (а) и стесненном (б) осаждении, полученные седиментационным методом и оптическим методом (в)

Результаты распределения частиц по размерам, полученные седиментационным анализом (рисунок 2, а и б), сравнивались с оптическими измерениями гранулометрического состава исходной пробы частиц хвостов флотации (рисунок 2в). При расчете седиментационной кривой свободного осаждения (рисунок 2а) наблюдается узкое распределение частиц по размерам. Нижний предел ограничивает малая масса частиц, в связи с чем на осаждение оказывают значительное влияние конвекционные потоки жидкости. Верхний предел ограничивается слишком быстрым осаждением крупных частиц: около 56 % выпадает до начала измерений. При расчете седиментационной кривой стесненного осаждения (рисунок 2б) происходит расширение области распределения, что связано с уменьшением скорости осаждения частиц большего диаметра за счет потерь энергии на столкновение и взаимодействие с другими частицами. Распределение (рисунок 2в) имеет три максимума, что свидетельствует о наличии трех фракций частиц разной дисперсности: наибольшую массу составляют частицы дисперсным размером до 50 мкм, присутствует фракция частиц дисперсным размером (50 ÷ 180) мкм, наименьшую массу

составляют частицы дисперсным размером $180 \div 220$ мкм. Стоит отметить, что в отходах флотации присутствуют (поштучно) частицы до 300 мкм, но в связи с малым объемом исследуемых проб вероятность появления их в выборке мала.

Полученные диаграммы распределений частиц седиментационным и оптическим методами значительно отличаются, можно заключить: – без дополнительного разделения частиц хвостов флотации на фракции нельзя оценить их гранулометрический состав седиментационным методом при свободном осаждении; – при стесненном осаждении по седиментационным кривым возможно сделать описание кинетики осаждения реальных суспензий, но нельзя установить гранулометрический состав осаждаемых частиц в фиксированные интервалы времени.

Для исследований возможности переработки частиц хвостов флотации были взяты пробы илов (лежалых хвостов флотации) вблизи дамбы прудка-отстойника, ниже сброса сточных вод на ~ 1 км с наиболее подвижными частицами менее 50 мкм, которые создают устойчивую взвесь [10].

Чтобы выявить эффективность частиц хвостов флотации и определить ее оптимальное содержание в бетоне, был поставлен эксперимент на образцах с частичной заменой в разных соотношениях базового наполнителя (песка) бетонной смеси на частицы хвостов флотации по методике [11]. Прочностные результаты образцов бетонов на сжатие представлены на рисунке 3.

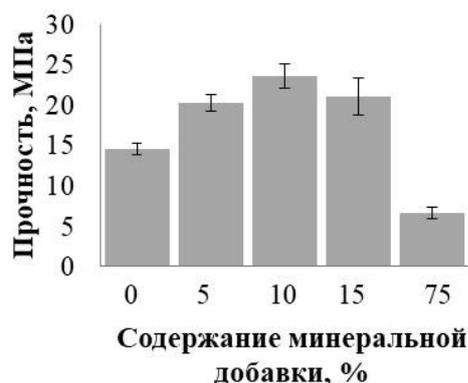


Рисунок 3 – Прочность на сжатие образцов бетона с частичной заменой наполнителя на частицы отходов флотации

Из рисунка 3 видно, что использование частиц хвостов флотации позволяет увеличить прочность бетона, максимальный эффект наблюдается при замене 10 % базового наполнителя на частицы флотации, следовательно, переработка твердой фазы хвостов флотации в бетон целесообразна с точки зрения увеличения прочности бетона на сжатие.

Работа выполнена при использовании оборудования Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск). Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-38-50200 «мол_нр».

Список литературы:

1 Сакладов А.С. О влиянии производственных отходов ОАО «Рудник «Веселый» на состояние окружающей среды / А.С. Сакладов, Ю.В. Робертус, Р.В. Любимов. // Природные ресурсы Горного Алтая. – 2007. – № 1. – 79 с.

2 *Сакладов А.С.* Характер и масштабы влияния на окружающую среду отходов горнодобывающих предприятий республики Алтай / А.С. Сакладов.: дис. ... канд. геолого.-минералогических наук: 25.00.36. – М.: 2008. – 155 с.

3 *Панова В.Ф.* Замена природных ресурсов за счет применения техногенного сырья / В.Ф. Панова, С.А. Панов. // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2015. – № 2. – С. 152-157.

4 *Архипов И.А.* Экологические аспекты воздействия техногенно-минеральных образований на состояние поверхностных вод (на примере ЗИФ рудника "Веселый") / И.А. Архипов, Н.В. Ларинова, Ю.В. Робертус, А.В. Пузанов // Проблемы региональной экологии. – 2015. – № 3. – С. 104-109.

5 *Комарова Л.Ф.* Инженерные методы защиты окружающей среды / Л.Ф. Комарова, Л.А. Кормина. // Техника защиты атмосферы и гидросферы от промышленных загрязнений: учеб. пособие / Изд-во: «Алтай». – Барнаул, 2000. – 395 с.

6 *Васенин И.М.* Газовая динамика двухфазных течений в соплах. / И.М. Васенин, В.А. Архипов, В.Г. Бутов, А.А. Глазунов, В.Ф. Трофимов // – Томск: Изд-во Том.ун-та, 1986. – 286 с.

7 *Лайнер А.И.* Производство глинозема / А.И. Лайнер, Н.И. Еремин, Ю.А. Лайнер, И.З. Певзнер. – М.: Металлургия, 1978. – 344 с.

8 *Журковский М.Е.* Исследование процесса осаждения твердых частиц хвостов флотации / М.Е. Журковский, А.Н. Блазнов, И.К. Жарова. // Мат-лы XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности» (23 – 25 мая 2018 года, г. Бийск). – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, 2018. – С. 146-151.

9 *Наумов В.Н.* Седиментационный анализ суспензий / В.Н. Наумов, Д.В. Королев. // Методические указания к лабораторной работе. – СПб.: ГОУ ВПО СПбГТИ (ТУ), 2005. – 30 с.

10 *Журковский М.Е.* Комплексное использование отходов горнодобывающих предприятий на примере применения минеральных частиц «хвостов» флотации в строительных материалах / М.Е. Журковский, А.Н. Блазнов, И.К. Жарова. // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2018. – № 4. – С. 489-494.

11 *Журковский М.Е.* Экспериментальное исследование свойств бетонов, содержащих минеральные частицы флотационных отходов / М.Е. Журковский, А.Н. Блазнов, И.К. Жарова, П.В. Верещагин. // Мат-лы XXI Всероссийской научной конференции с международным участием «Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии» (17–19 сентября 2018 года, г. Томск). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2018. – С. 132-135.