

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТЕСНЕННОГО ОСАЖДЕНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ХВОСТОВ ФЛОТАЦИИ

М.Е. Журковский, А.Н. Блазнов, И.К. Жарова

В настоящей работе проведены исследования по определению гранулометрического состава твердых частиц суспензии хвостов флотации, при различном времени осаждения. В работе рассматривается осаждение частиц хвостов флотации крупностью от 0 до 300 мкм с содержанием 22 % от массы суспензии. Рассмотрена модель стесненного осаждения. Для исследования процесса осаждения используется седиментационный метод анализа, основанный на непрерывном взвешивании осаживаемых частиц. На полученных седиментационных кривых наблюдаются три линейных участка и два перегиба, что свидетельствует о разной скорости осаждения и разном размере частиц на этих участках. В местах перелома седиментационной кривой определяли гранулометрический состав осевших частиц оптическим методом. В результате гранулометрических исследований были выделены три фракции, состоящие из крупных частиц размерами 50-300 мкм (осаждаются в первые 120 с); частиц средней фракции 5-25 мкм (осаждаются 120-1000 с), и взвеси частиц размерами до 16 мкм (осаждаются более 1000 с). Процесс осаждения заканчивается в течение 24 часов.

Ключевые слова: осаждение, хвосты флотации, частицы, гранулометрическое распределение, седиментация.

ВВЕДЕНИЕ

Дробление и измельчение – это один из самых энергоемких и дорогостоящих производственных процессов. Хвосты флотации, которые миллионами тонн скапливаются в виде твердых минеральных частиц в хвостохранилищах горно-обогатительных предприятий, имеют малые размеры, $0 \div 300$ мкм. Энергия на измельчение уже затрачена, поэтому интерес представляет использование измельченных частиц. Минеральные добавки могут найти перспективное применение в бетонах, газо-пенобетонах, плитках, грунтовоочных смесях и многих других материалах [1-3].

В большинстве случаев хвосты флотации

поступают с фабрики в виде суспензии, например, для рудника «Веселый» состав: 22 % (по массе) - минеральные твердые частицы (пустая порода) и 78 % воды. Далее твердая и жидкая фазы разделяются в прудках-отстойниках, отфильтрованная дамбой вода сбрасывается в ручей Синюху, минеральные частицы накапливаются в хвостохранилище [4].

Для применения минеральных частиц флотации в различных конструкционных материалах важно исследовать их гранулометрический состав и способы выделения из исходной суспензии частиц с определенным размером. Чтобы разработать оборудование, способное разделять по размерам (и массе) осаживаемые частицы, необходимо определить скорость осаждения частиц.

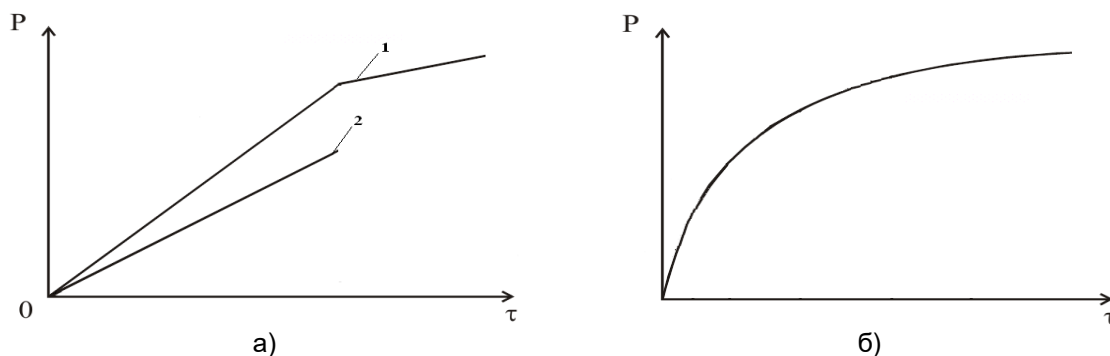


Рисунок 1 – Примеры кривых накопления веса седиментационного осадка для систем одной (2) и двумя (1) фракциями (а) и полидисперсных (б) [6]

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТЕСНЕННОГО ОСАЖДЕНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ХВОСТОВ ФЛОТАЦИИ

Для определения скорости осаждения и размеров частиц часто используют методы седиментационного анализа, большинство которых основано на применении закона Дж. Стокса в предположении, что частицы шарообразные, на их скорость падения влияет только сила гравитации, следовательно, оседают с линейной скоростью [5].

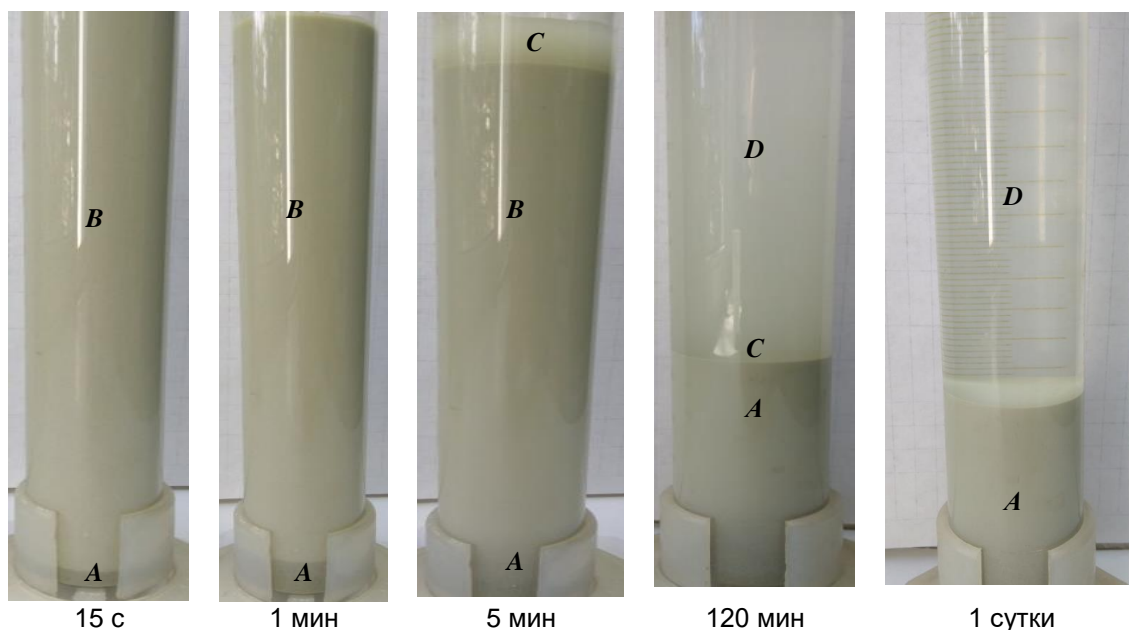
При одинаковом размере оседаемых частиц вес осадка P монодисперсной суспензии на седиментационной кривой (рисунок 1а) должен увеличиваться пропорционально, зависимость выглядит линейно [6].

При осаждении двух фракций одновременно вначале оседают крупные и мелкие частицы, седиментационная кривая имеет наиболее крутой линейный участок. После осаждения крупной фракции мелкая продолжает оседать, но накопление массы становится меньше за тоже время τ , и седиментационная кривая формирует перелом и уменьшает крутизну (рисунок 1а).

Скорость осаждения полидисперсных систем непрерывно изменяется во времени. Для таких систем кинетика осаждения устанавливается экспериментально, характеризуется кривой накопления осадка в виде параболы (рисунок 1 б) [6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Реальные суспензии, как правило, не имеют таких идеальных условий: на осаждение частиц влияют форма, плотность, степень шероховатости их поверхности и другие факторы. При высоком содержании твердой фазы осаживаемые частицы взаимодействуют между собой, что сильно отражается на скорости осаждения. Стесненное осаждение сопровождается процессом сгущения, в результате происходит формирование зон сгущения [7]. На рисунке 2 показан процесс осаждения исследуемых хвостов флотации.



A – зона уплотнения осадка; B – зона стесненного осаждения; C – зона свободного осаждения; D – зона осветленной жидкости

Рисунок 2 – Формирование зон сгущения хвостов флотации от времени осаждения

По характеру наблюдаемый процесс осаждение соответствует [7]. Вначале стесненного осаждения хвостов флотации (рисунок 2) происходит формирование зоны А из крупных более тяжелых частиц, осаждению которых незначительно мешает еще только начавшая формироваться зона стесненного осаждения

В. Далее зона стесненного осаждения В переходит в зону уплотнения осадка А. Этот переход проявляется снижением скорости движения границы раздела между зонами С и В. На рисунке 3 представлено изменение высоты видимого слоя осадка L от времени осаждения τ .

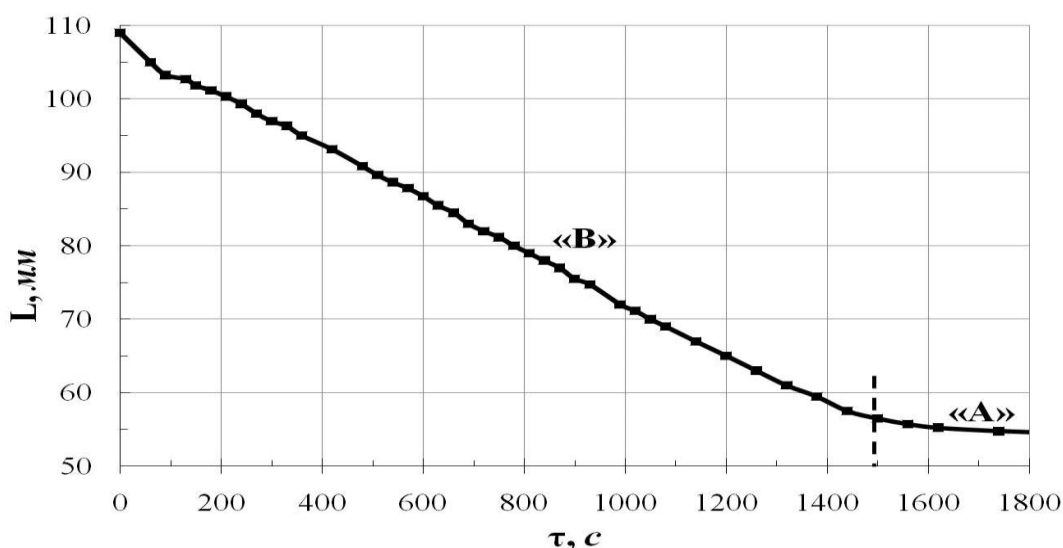


Рисунок 3 – Изменение скорости движения границы раздела между зоной С и В

Из рисунка 3 видно, что переход зоны стесненного осаждения В в зону сгущения А происходит при достижении граничного слоя между зонами С и В высоты 55 мм. Следовательно, чашу для непрерывного взвешивания осадка при седиментационном исследовании следует помещать (при данном уровне суспензии) выше 55 мм от дна стакана (чтобы чаша для взвешивания не села на осадок).

В процессе осаждения в зоне В в результате седиментационного разделения частицы с наименьшей скоростью осаждения выбиваются из зоны В и образуют зону свободного осаждения С. Выше зоны С наблюдается зона осветленной жидкости D, осаждение взвешенных частиц в зоне С происходит крайне медленно. Процесс осаждения завершается через сутки (визуально наблюдается осветленная вода в зоне D и четкая граница раздела, рисунок 2).

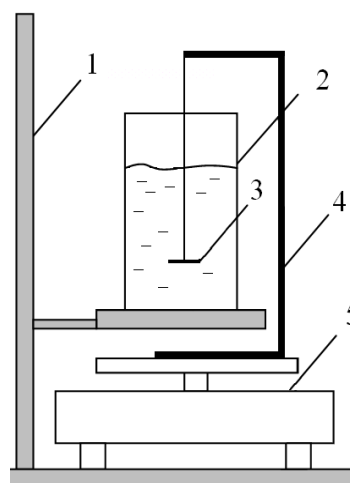
Для исследования процесса осаждения использовался метод непрерывного измерения массы осаживаемых частиц. Методика седиментационного анализа описана в работе [6].

Глубина погружения чаши 3 определялась исходя из рисунка 3.

Схема используемой установки приведена на рисунке 4.

Исследуемую суспензию заливают в стакан 2, закрепленный на штативе 1, в него опускают чашу 3 для взвешивания осадка. Чаша крепится с помощью подвеса на зацеп 4, установленный на весах 5. При исследовании процесса седиментации измеряют массу осадка в

зависимости от времени осаждения. По полученным данным строятся седиментационные кривые накопления массы осадка.



1 – штатив, 2 – стакан, 3 – чаша для взвешивания осадка, 4 – зацеп, 5 – весы

Рисунок 4 – Схема установки для проведения седиментационного анализа

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Проводились исследования сточных вод флотационного обогащения комплексных руд, отобранных в месте сброса хвостов с золото-извлекательной фабрики рудника «Веселый». Процесс седиментационного осаждения исследовали с пятикратной повторяемостью.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТЕСНЕННОГО ОСАЖДЕНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ХВОСТОВ ФЛОТАЦИИ

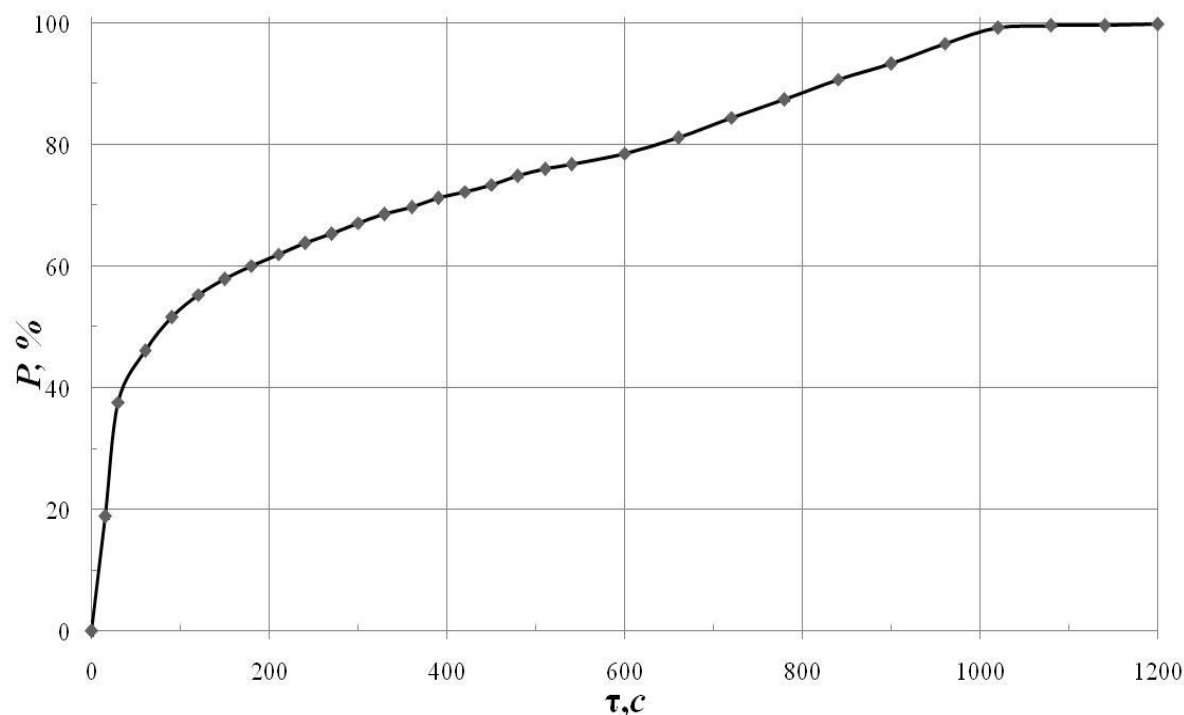


Рисунок 5 – Накопление массы седиментационного осадка

Характерная кривая накопления веса P осадка для исследуемой суспензии приведена на рисунке 5.

Из рисунка 5 видно, что скорость накопления осадка на отрезке времени от 0 до 100 с максимальна, кривая имеет линейный вид. На этом участке полностью высаживаются наиболее тяжелые и крупные частицы, скорость осаждения которых на порядок превышает осаждение остальных частиц. Крупные частицы в процессе стесненного осаждения уносят с собой и массу более мелких частиц [6]. Эти частицы выпадают настолько быстро, что не влияют на образование в дальнейшей зоне по рисунку 2.

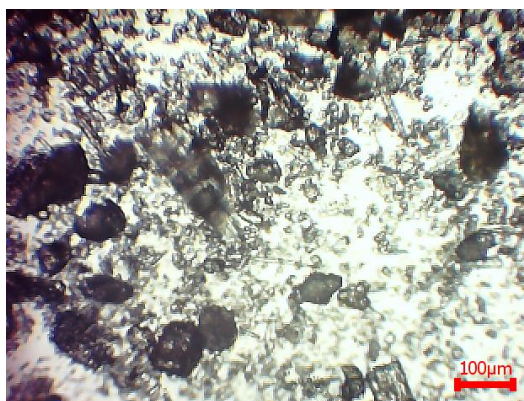
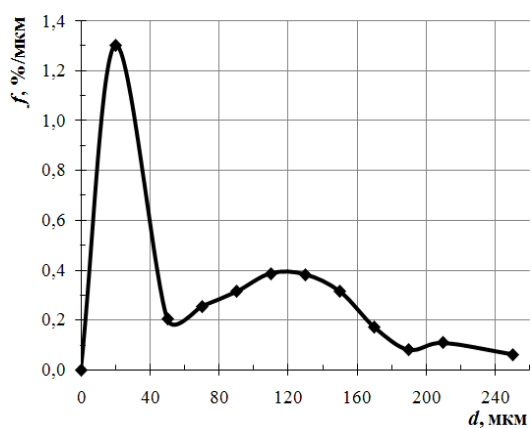
После выпадения 50 % осадка наблюдается сильное уменьшение скорости (отражаемое перегибом кривой), что говорит о начале выпадения очищенной от крупных частиц средней фракции.

По достижению 1100 с осаждения скорость накопления массы резко падает из-за перехода чаши для взвешивания осадка из зоны стесненного осаждения В, содержащей большое количество осаживаемых частиц, в зону свободного осаждения С, состоящую из наиболее редких малых частиц, выбившихся из зоны стесненного осаждения В.

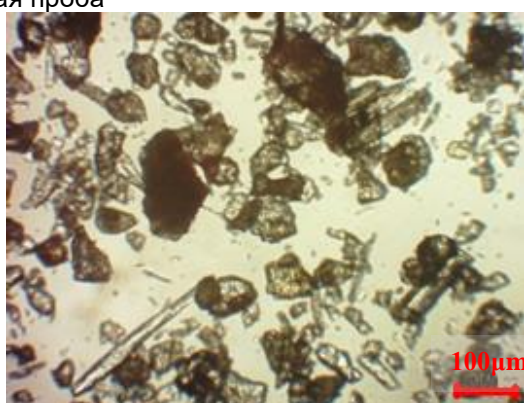
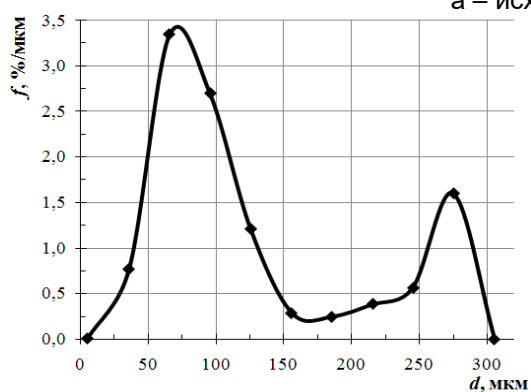
В каждой зоне оседают частицы с различными свойствами и гранулометрическим составом. Такие суспензии не поддаются описанию по закону Стокса.

С целью сопоставления седиментационных кривых с размерами частиц проводилось экспериментальное исследование гранулометрического состава исходных флотационных хвостов, легко отделяемых фракции (по скорости осаждения) и наиболее тонкой фракции с помощью микроскопического метода анализа.

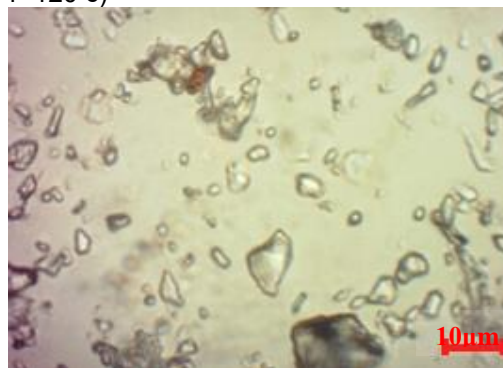
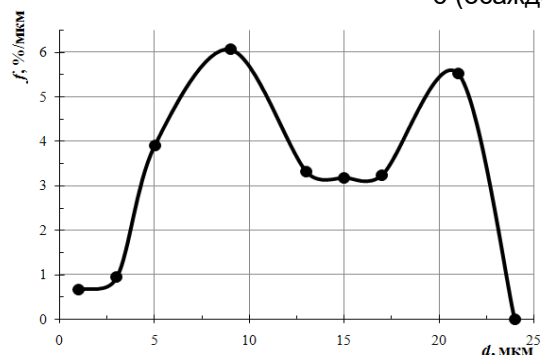
Пробы отбирали с чаши для взвешивания осадка в интервалах времени осаждения (в местах перегибов седиментационной кривой): 1÷120 с - самые крупные частицы, не влияющие на зоны осаждения; 120÷1000 с – осадок, состоящий из частиц, формирующих зону В; 1000÷3000 с - частицы из зон свободного осаждения С и осветленной жидкости D; и сравнивали с исходной фракцией, соответствующей частицам в окончательно сформированной зоне А.. Полученные дифференциальные функции распределения по размерам и характерные фотографии измеряемых проб приведены на рисунке 6.



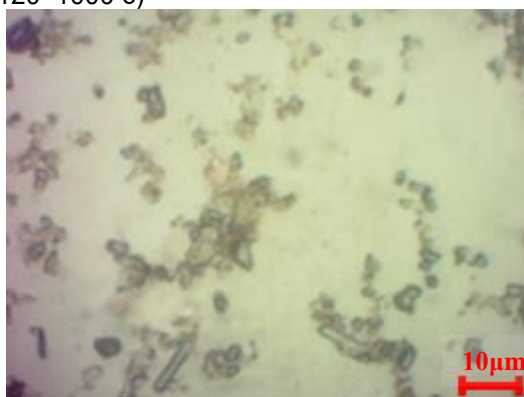
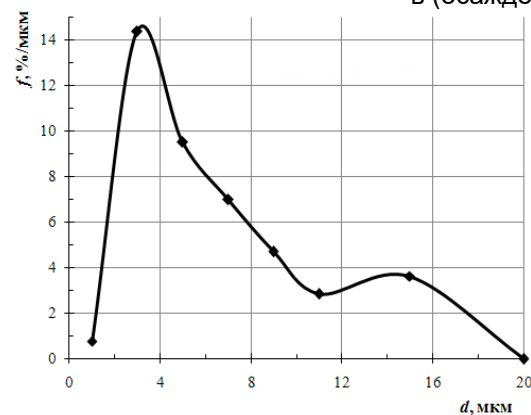
а – исходная проба



б (осаждение 1+120 с)



в (осаждение 120+1000 с)



г (осаждение 1000+3000 с)

Рисунок 6 – Дифференциальные функции распределения по размерам и характерные фотографии измеряемых проб

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТЕСНЕННОГО ОСАЖДЕНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ХВОСТОВ ФЛОТАЦИИ

По дифференциальной кривой исходной фракции (рис. 6а) можно заключить, что частицы имеют размеры до 300 мкм, кривая распределения имеет три максимума. Наибольшую массу занимают частицы размерами до 50 мкм, следующий пик образуют частицы размерами 50÷180 мкм, а частицы размерами 180÷300 мкм встречаются крайне редко. На фото (рис. 6б) видно, что в первые 120 с осаждаются преимущественно крупные частицы размерами от 50 до 150 мкм, присутствуют (поштучно) частицы до 300 мкм. На рисунке 6в, при осаждении в промежутке от 120 до 1000 с, размер частиц более стабилен (от 5 до 25 мкм), что подтверждается практически линейным участком на кривой осаждения (рис. 5). После осаждения в течение 1000 с (рис. 6г) остаются взвешенные частицы размером до 16 мкм. Таким образом, на исходной кривой (рис. 6а) представлены три пика, которые распадаются на три фракции по размерам (рис. 6б-6г), и соответствуют трем различным скоростям осаждения (см. рис. 5). Полученные результаты соответствуют результатам проведенных ранее исследований [8] в части наличия нескольких пиков на кривой распределения и зависимости скорости осаждения от размеров частиц, и дополняют эти исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены исследования стесненного осаждения твердых частиц хвостов флотации. Получены седиментационные кривые и определена скорость осаждения. Кривые осаждения имеют три линейных участка и два перегиба, что свидетельствует о разной скорости осаждения и разном размере частиц на этих участках. Проведены исследования гранулометрического состава фракций, разделяемых по времени осаждения. Показано, что в первые 120 с осаждаются крупные частицы размерами 50-300 мкм, в диапазоне времени осаждения 120-1000 с наблюдается более равномерное распределение частиц по размерам в диапазоне 5-25 мкм, а спустя 1000 с осаждения остается взвесь частиц размерами до 16 мкм. Процесс осаждения заканчивается в течение 24 ч.

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. Потравный, И.М. Возможности использования ресурсов техногенных месторождений для производства строительных материалов (на примере КОО «Предприятие Эрдэнэт») / И.М. Потравный, И.Б. Генгут, Нямдорж Даваахуу // Строительные материалы. – 2016. – № 3. – С. 52-55.
2. Журковский, М.Е. Исследование процесса твердения бетона с минеральными добавками / М.Е. Журковский, В.В. Фирсов, А.Н. Блазнов, П.В. Верещагин // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы X Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (24-26 мая 2017 года, г. Бийск) / Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2017. – С. 258-262.
3. Журковский, М.Е. Исследование прочности образцов бетона с минеральными добавками / М.Е. Журковский, А.Н. Блазнов, И.К. Жарова, П.В. Верещагин // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (23-25 мая 2018 года, г. Бийск) / Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2018. – С. 151-156.
4. 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.
5. Комарова, Л.Ф. Инженерные методы защиты окружающей среды. Техника защиты атмосферы и гидросферы от промышленных загрязнений: учебное пособие / Л.Ф. Комарова, Л.А. Кормина. – Барнаул: Изд-во: «Алтай», 2000. – 395с.
6. 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.
7. Лайнер, А.И. Производство глинозема / А.И. Лайнер, Н.И. Еремин, Ю.А. Лайнер, И.З. Певзнер; 2-е изд. – М.: Металлургия, 1978.– 344с.
8. Блазнов, А.Н. Экспериментальные исследования осаждения твердых частиц под действием гравитационных и центробежных сил в процессах очистки сточных флотационных вод / А.Н. Блазнов, В.В. Кырлан, А.В. Фролов, В.Е. Бажин, Д.Б. Иванова // Ползуновский вестник. – 2013. – № 3. – С. 293–299.

Журковский Максим Евгеньевич, младший научный сотрудник лаборатории Материаловедения минерального сырья Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), 8-(3854) 30-59-06, labmineral@mail.ru

Блазнов Алексей Николаевич, д.т.н.,
доцент, заведующий лабораторией Материаловедения минерального сырья Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), (3854) 30-58-82.,
blaznov74@mail.ru

Жарова Ирина Константиновна, д. физ.-мат.н., ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательского института прикладной математики и механики Томского государственного университета (НИИ ПММ ТГУ), в. Томск, 8 (3822) 529-522,
zharova@niipmm.tsu.ru