

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

УДК 622.765

На правах рукописи

Обжамиева Нұрила Болатбекқызы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации

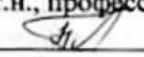
Интенсификация процессов
очистки сточной воды от угольного
шлама методом ультрафлокуляции

Направление подготовки

7M07223 – Металлургия и
обогащение полезных ископаемых

Научный руководитель:

г.т.н., профессор

 Тусупбаев Н.К.

«03» 06 2021 г.

Рецензент:

д.х.н., зав. лаб. «Моторных топлив»

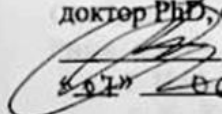
АО «Институт топлива, катализа и
электрохимии» им. Д.В. Сокольского.

 Туктин Б.Т.

«11» 06 2021 г.

Нормоконтроль:

доктор РнН, сениор-лектор

 Дюсенова С.Б.

«07» 06 2021 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

заведующая кафедрой МиОПИ,
кандидат технических наук

 Барменшинова М.Б.

«14» 06 2021 г.

Алматы 2021

Satbayev University

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

7M07223 – «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой МиОПИ

канд. техн. наук

М.Б.Барменшинова

« 01 » 02 2021 г.

ЗАДАНИЕ**на выполнение магистерской диссертации**

Магистранту Эбжамиева Нұрила Болатбекқызы

Тема: Интенсификация процессов очистки сточной воды от угольного шлама методом ультрафлокуляции

Утверждена приказом ректора университета №435-М от «03» декабря 2019 г.

Срок сдачи законченной диссертации « ____ » 06 2021 г.

Исходные данные к магистерской диссертации:

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) Введение;б) Исследовательская часть;в) Заключение;г) Список использованной литературы.

Демонстрационный графический материал представить не менее чем на 10 слайдах с результатами исследований.

Рекомендуемая основная литература:

1. Baisui Han, Batnasan Altansukh, Kazutoshi Haga, Yasushi Takasaki and Atsushi Shubayama. Copper Recovery from Silicate-Containing Low-Grade Copper Ore Using Flotation Followed by High-Pressure Oxidative Leaching. Resources Processing 64. 2017. P. 3–14.

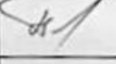
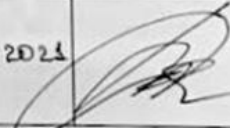
2. Информация на сайте <https://www.isamill.com/ru/Pages/home.aspx>.

3. K. Kongolo, M. Kipoka, K. Minanga and M. Moyo, "Improving the efficiency of oxide copper cobalt ores flotation by combination of sulphidisers," Minerals Engineering, vol. 16, pp. 1023-1026, 2003.

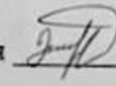
ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Аналитический обзор	05.03.2021	выполнено
Основные методы анализа и исследований	05.04.2021	выполнено
Экспериментальная часть	05.05.2021	выполнено

Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию
с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования раздела	Консультант, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Аналитический обзор	Н. К Тусупбаев д.т.н, профессор	05.03.2021	
Основные методы анализа и исследований		05.04.2021	
Экспериментальная часть		05.05.2021	
Нормоконтроль	С.Б. Дюсенова доктор PhD, сениор-лектор	06.06.2021	

Научный руководитель  Н. К Тусупбаев

Задание принял к исполнению обучающийся  Н. Б Эбжамиева

Дата

« 14 » 06 2021 г.

АҢДАТПА

Көмір шламының суспензиясын ультрафлокуляциялау процесінің тиімділігін зерттеу үшін украиндық Турбофлотсервис фирмасы жасаған УльтрафлокТестер-2010 құралы қолданылды, оның ішінде флокулалардың орташа мөлшері мен судың ағу дәрежесі бойынша флокуляцияның тиімділігі мен оптоэлектрондық механизмі бар. Бұл құрылғы арқылы сіз флокулянттың оңтайлы түрі мен дозасын орнатып қана қоймай, сонымен қатар белгілі бір суспензияны гидродинамикалық Өңдеудің оңтайлы режимін белгілей аласыз. Зертханалық тестілеуді орындау үшін бөлшектердің дисперсті құрамы 22 мкм - 86,1%, 1000 мкм - 11,6% және $<< 1$ мкм - 2,4% және қатты концентрациясының көміртегі шламының үлгілері қолданылды – 30 г/л.жұмыста фин өндірушісі Kemira-ның "Superfloc" сериялы флокулянттары қолданылды, олар әр түрлі иондық дәрежедегі жоғары молекулалық салмақтағы полиакриламидтің сополимерлері болды. Флокулянттардың оңтайлы дозасы 10 г/т тең болған кезде А-150-7 анионды флокулянты болған кезде шламның тұндыру жылдамдығы 2 есе, А-150-15 маркалы анионды флокулянты және С-496-80 катионды флокулянты және MF-156 фабрикалық флокулянты 3 есе асады.

Гидродинамикалық Өңдеудің оңтайлы жылдамдығы 1000 с-1 тең болған кезде А-150-7 флокулянтының қатысуымен шламның тұндыру жылдамдығы 10 сек өңдеу уақыты кезінде тұндыру жылдамдығы флокулянттың оңтайлы шығысы 5 г/т кезінде 5 есе артады, ал Флокулянттың шығысы Ультрафлоктестерге өңдеусіз салыстырғанда 2 есе азаяды.

А-150-7 анионды флокулянтының құрамында А-150-15 флокулянтына қарағанда 2 есе аз және 496-80 және MF-156 флокулянттарына қарағанда 3 есе аз екендігі анықталды. Ультрафлоктестерді қолдану арқылы жақсы нәтижелер алынады: ығысу жылдамдығы 1000 с-1 кезінде қатты қара өріктің мөлшері шамамен 6 есе, ал А-150-7 анионды флокулянтты тұтыну 2 есе азаяды. Өңдеу уақыты - 10 сек. Су фазасын көмір шламдарынан тазарту дәрежесінің ең жақсы нәтижелерін А-150-7 анионды флокулянтын қолдана отырып, ультрафлокуляторда жүйелі түрде өңделетін технология береді.

АННОТАЦИЯ

Для исследования эффективности процесса ультрафлокуляции суспензии угольного шлама применялся прибор «УльтрафлокТестер-2010, разработанный украинской фирмой «Турбофлотсервис», включающий минифлокулятор и оптоэлектронный механизм фиксирования эффективности флокуляции по среднему размеру флокул и степени осветления воды. Посредством данного прибора можно не только устанавливать оптимальный тип и дозировку флокулянта, но и фиксировать оптимальный режим гидродинамической обработки конкретной суспензии. Для выполнения лабораторного тестирования использовались образцы суспензии угольного шлама дисперсным составом частиц 22 мкм - 86,1%, 1000 мкм - 11,6% и $\ll 1$ мкм - 2,4% и концентрацией твердого – 30 г/л. В работе использовались флокулянты серии «Superfloc» финского производителя Kemira, представляющие собой сополимеры полиакриламида высокой молекулярной массы с различной степенью ионности. При оптимальной дозе флокулянтов равной 10 г/т скорость осаждения шлама в присутствии анионного флокулянта А-150-7 превышает в 2 раза, анионного флокулянта марки А-150-15, и 3 раза катионного флокулянта С-496-80 и фабричного флокулянта MF-156.

При оптимальной скорости гидродинамической обработки равной 1000 с^{-1} скорость осаждения шлама в присутствии флокулянта А-150-7 при времени обработки 10 сек скорость осаждения увеличивается при оптимальном расходе флокулянта 5 г/т в 5 раз, а расход флокулянта уменьшается в 2 раза по сравнению без обработки на Ультрафлоктестера.

Установлено, что анионный флокулянт А-150-7 в 2 раза меньше содержит твердого в сливе, чем флокулянт А-150-15 и 3 раза меньше, чем флокулянты 496-80 и MF-156. Лучшие результаты получаются при использовании Ультрафлоктестера: при скорости сдвига 1000 с^{-1} существенно снижается содержание твердого в сливе почти в 6 раз, а расход анионного флокулянта А-150-7 в 2 раза меньше. Время обработки - 10 сек. Наилучшие результаты степени осветления водной фазы от угольных шламов, дает технология, при которой последовательно обрабатывают в ультрафлокуляторе с применением анионного флокулянта А-150-7.

ABSTRACT

To study the efficiency of the ultraflocculation process of coal slurry suspension, the device "Ultrafloktester-2010", developed by the Ukrainian company "Turboflot-service", was used, which includes a miniflocculator and an optoelectronic mechanism for recording the flocculation efficiency by the average size of the flocules and the degree of water clarification. Using this device, you can not only set the optimal type and dosage of flocculant, but also record the optimal mode of hydrodynamic treatment of a particular suspension. To perform laboratory testing, samples of coal slurry suspension with a dispersed particle composition of 22 microns - 86.1%, 1000 microns - 11.6% and < 1 microns - 2.4% and a solid concentration were used – 30 g / l. We used flocculants of the "Superfloc" series from the Finnish manufacturer Kemira, which are copolymers of high molecular weight polyacrylamide with various degrees of ionization. At the optimal dose of flocculants equal to 10 g / t, the sludge deposition rate in the presence of anionic flocculant A-150-7 exceeds 2 times that of anionic flocculant A-150-15, and 3 times that of cationic flocculant C-496-80 and factory flocculant MF-156.

With an optimal hydrodynamic treatment rate of 1000 s⁻¹, the sludge deposition rate in the presence of flocculant A-150-7 with a processing time of 10 seconds, the deposition rate increases 5-fold with an optimal flocculant consumption of 5 g/t, and the flocculant consumption decreases 2-fold compared to without Ultrafloktester treatment.

It was found that anionic flocculant A-150-7 contains 2 times less solid in the drain than flocculant A-150-15 and 3 times less than flocculants 496-80 and MF-156. The best results are obtained when using an Ultrafloktester: at a shear rate of 1000 s⁻¹, the solid content in the drain is significantly reduced by almost 6 times, and the consumption of anionic flocculant A-150-7 is 2 times less. Processing time - 10 seconds. The best results of the degree of clarification of the water phase from coal slurries are obtained by the technology in which they are sequentially processed in an ultra-flocculator using an anionic flocculant A-150-7.

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	8
1	Аналитический обзор литературы	10
1.1	Флокуляция в процессах водоочистки	10
1.2	Статические флокуляторы	16
1.3	Динамические флокуляторы	17
2	Ультрафлокуляция	20
3	Экспериментальная часть	25
3.1	Методика измерения размера частиц	27
4	Обсуждение результатов	32
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	37
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	38
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	41

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее эффективных методов интенсификации процесса сепарации хвостов обогащения минерального сырья седиментацией и фильтрацией является флокуляция. Основное преимущество флокулянтов перед коагулянтами состоит в том, что они обеспечивают более прочное связывание частиц суспензии в относительно упругую пористую структуру, которая обладает достаточно высокой сопротивляемостью к разрушению под действием механической обработки. Благодаря этим свойствам, обработанные флокулянтom суспензии, значительно быстрее седиментируют, а осадок обладает более высокой плотностью и легче обезвоживается прессованием или центрифугированием, так как его гидравлическое сопротивление в процессе обработки растет значительно медленнее, чем у суспензий, обработанных коагулянтom.

Вместе с тем, флокулянты имеют один существенный недостаток – их молекулы, в силу огромной молекулярной массы, обладают очень низкой подвижностью, что создает проблемы при смешивании исходного раствора флокулянта с суспензией и равномерном распределении его молекул в объеме обрабатываемой суспензии и, следовательно, на поверхности частиц. Особенно остро этот недостаток проявляется при обработке относительно концентрированных суспензий (более 10 г/л твердого). В результате неравномерного распределения флокулянта в суспензии образуются области с чересчур большой и чересчур низкой концентрацией. Вследствие этого, по завершении процесса флокуляции в суспензии остается очень много несвязанных между собой мелких частиц или агрегатов. Эти частицы не только снижают качество осветленной воды, но, и это самое главное, существенно затрудняют обезвоживание осадка фильтрованием или центрифугированием. Обусловлено это тем, что несвязанные мелкие частицы могут перемещаться в порах фильтрационного чека и закрывать их, увеличивая тем самым гидравлическое сопротивление чека и снижая скорость фильтрации. Кроме того, упомянутые частицы способны проникать и накапливаться в межволоконном пространстве фильтрующего материала, снижая срок его службы в несколько раз.

Частичное решение проблемы может быть достигнуто путём использования очень разбавленных исходных растворов флокулянта и соответствующего разбавления обрабатываемой суспензии. В результате, при обработке высококонцентрированных суспензий (более 100 г/л твердого), нагрузка на сепарационное оборудование может увеличиться на 50 % и более.

В случае разбавленных суспензий (< 1 г/л твердого), проблемы флокулярной обработки усугубляются еще и тем, что при этом существенно снижается частота столкновений флокулируемых частиц, что приводит к

значительному увеличению времени, необходимому для завершения процесса флокуляции.

Преодоление вышеописанных трудностей использования флокулянтов, как впервые было показано в работах [1, 2], может быть достигнуто путём применения специальной гидродинамической обработки суспензии в процессе введения флокулянта и сразу после него. Такая обработка, получившая название «ультрафлокуляция» [3,4], позволяет не только быстро и равномерно распределить молекулы флокулянта по объёму суспензии, но и создать благоприятные условия для быстрого формирования плотно упакованных и прочных флокул. При этом практически все частицы оказываются в связанном состоянии, что существенно облегчает дальнейшее обезвоживание осадка.

Высокомолекулярные вещества широко используются для ускорения и увеличения степени агрегации дисперсных частиц. Так, они находят применение в различных отраслях современной технологии для интенсификации процессов разделения фаз (например, методами седиментации, фильтрации, флотации, центрифугирования), в том числе при водоочистке, обогащении полезных ископаемых и др. Изучению флокуляции дисперсий полимерами посвящено большое число работ. Основанием для разработки темы является необходимость создания технологии сгущения и обезвоживания продуктов обогащения современным инновационным методом ультрафлокуляции.

Результаты исследования могут быть использованы для повышения эффективности процессов сгущения и обезвоживания продуктов обогащения с помощью ультрафлокуляционной аппаратуры.

Актуальность

В последние годы в технологии сепарации техногенных суспензий все более широкое распространение получает ультрафлокулярная обработка. Эффективность использования флокулянтов в процессах седиментационной и фильтрационной сепарации фаз суспензии в значительной мере зависит от режима гидродинамической обработки суспензии (градиента скорости среды) после введения в нее раствора флокулянта. Правильный подбор режима ультрафлокулярной обработки позволяет в несколько раз увеличить производительность отстойника и существенно снизить содержание взвеси в сливе. Она позволяет в 1,5-2 раза увеличить производительность вакуумных и ленточных пресс-фильтров и существенно снизить при этом расход дорогостоящих флокулянтов.

Новизна темы

Разработка оптимального режима гидродинамической обработки сточных вод от угольного шлама с использованием лабораторного турбофлокулятора.

1 Аналитический обзор литературы

1.1 Флокуляция в процессах водоочистки

Флокуляция является одним из наиболее распространенных технологических процессов, без которого немыслима сепарация больших объемов суспензий. Ежегодно в мире производятся миллионы тонн водорастворимых полимеров (флокулянтов), исключительное назначение которых состоит в связывании взвешенных в воде частиц в крупные плотные агрегаты (флокулы) с целью ускорения и удешевления последующего отделения их от воды седиментацией и фильтрацией.

Парная энергия связи частиц и прочность флокул. Как следует из теории ортокINETической коагуляции Смолуховского, скорость флокуляции экспоненциально зависит от градиента скорости среды, в которой они взвешены. Следовательно, увеличивая неоднородность гидродинамического поля среды, можно существенно ускорить флокуляцию, что особенно важно при обработке разбавленных суспензий [5,6]. С другой стороны, очевидно, что с ростом градиента скорости среды повышаются действующие на флокулы вязкие напряжения, стремящиеся их разорвать на более мелкие фрагменты [7-9]. В [10] было показано, что максимальный размер флокул $[d_F]_{max}$ определяется силой сцепления или парной энергией связи) частиц во флокуле и усредненным градиентом скорости среды. При этом, согласно [10], справедливо выражение

$$[d_F]_{max} = \frac{6U(1-p)^{\frac{2}{3}}}{\pi^2 G \eta d_p^2}, \quad (1.1)$$

где d_p - исходный размер частиц;

p - пористость флокул;

η -динамическая вязкость среды;

U - парная энергия связи частиц;

G -осредненный градиент скорости среды.

Таким образом, понятно, что чем больше парная энергия связи частиц, тем более мощная (с большими градиентами скорости среды G) гидродинамическая обработка суспензии может быть использована с целью ускорения флокуляции и получения флокул требуемых, размеров и плотности.

Основываясь на многочисленных экспериментальных данных [11-15], можно утверждать, что ортокINETическая флокуляция протекает в три основных этапа: объединение исходных частиц в первичные относительно мелкие агрегаты; формирование из первичных агрегатов более крупных флокул; уплотнение флокул за счет перераспределения отдельных частиц и первичных

агрегатов в них под действием вязких напряжений, действующих со стороны дисперсионной среды. Из самых общих теоретических соображений, а также из практических и экспериментальных наблюдений [16-20] следует, что для достижения наилучших результатов каждый из перечисленных этапов следует проводить при различных интенсивностях гидродинамической обработки, т.е. при неодинаковых значениях осредненного градиента скорости среды.

Для оценки этих значений необходимо знать силу сцепления или парную энергию связи частиц во флокule. Однако прямое измерение этих величин очень затруднительно и имеет ограниченные возможности по тину флокулируемых частиц. Кроме того, такие эксперименты обычно проводят, а условиях равновесной адсорбции флокулянта, что не совсем соответствует реальным условиям флокуляции. При этом значительный интерес представляет способ измерения парной энергии связи частиц, который основан на соответствующей теоретической интерпретации экспериментально измеренной зависимости максимального размера флокул от величины диссипации механической энергии в процессе гидродинамической обработки суспензии в изотропном и однородном турбулентном потоке [10]. Результаты таких измерений показаны в таблице, откуда видно, что парная энергия связи частиц может меняться в широких пределах, в зависимости от вида и размера частиц, а также типа флокулянта.

Очевидно, что парная энергия связи будет также зависеть от дозировки флокулянта, которая, как известно, имеет экстремальный характер. На рис. 1 представлена зависимость парной энергии связи частиц (стеклянных шариков диаметром 3.1 мкм) от концентрации флокулянта (Zetag-64), измеренная в работе [10]. На этом же рисунке представлены соответствующие значения (в относительных единицах) величины эффективности процесса флокуляции откуда видно, что ее максимум соответствует максимуму парной энергии связи частиц во флокule.

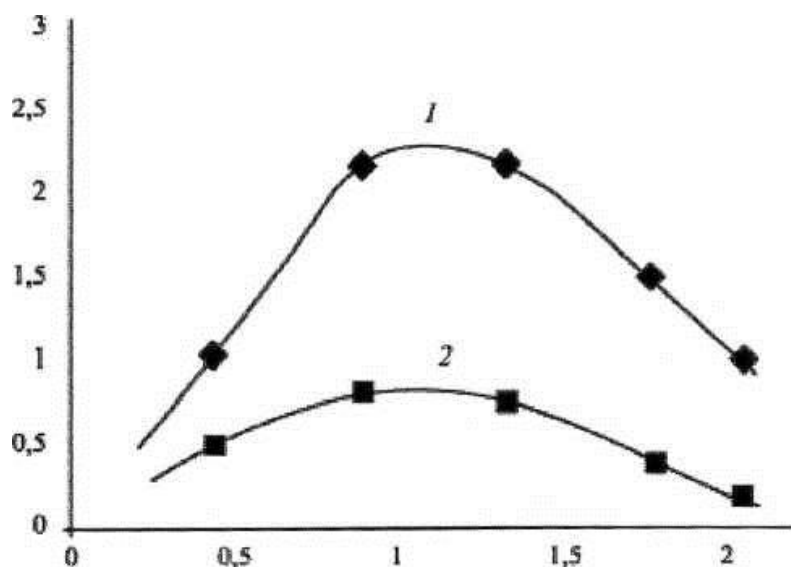


Рисунок 1.1 - Зависимости парной энергии сжат (U) (1) во флокуле и относительной эффективности процесса флокуляции (2) от концентрации флокулянта (Zetag-64). Концентрация твердого вещества в суспензии - 200 мг/дм³ [10].

Таблица 1.1 - Парная (U) и удельная парная ($\bar{U} = U/d_p$) энергии связи частиц при оптимальной концентрации флокулянта

Суспензия	Флокулянт, ионная активность, оптимальная концентрация, мг/дм ³	Средний размер частиц $\bar{d}_p$, мкм	p	$U, 10^{-14}$ Дж	$U, 10^3$ Дж/м ²
Стеклянные шарики	Magnafloc-368 Слабо-катионный 0,76	3,1	0,8	1,9	2,0
Стеклянные шарики	Zetag-50 средне-катионный 0,76	3,1	0,8	4,5	4,7
Стеклянные шарики	Zetag-64 сильно-катионный 0,76	3,1	0,8	8,3	8,6
Гидроксид алюминия	Magnafloc-1011 Средне-анионный 2,8	0,4	0,995	1,9	120
Ферроцианид никеля	Magnafloc-919 Сильно-анионный 3,25	0,35	0,99	0,17	14

Продолжения таблицы 1.1

Суспензия	Флокулянт, ионная активность, оптимальная концентрация, мг/дм ³	Средний размер частиц $\bar{d}_p$, мкм	ρ	$U, 10^{-14}$ Дж	$U, 10^3$ Дж/м ²
Стеклянные шарики	Magnafloc-368 Слабо-катионный 0,76	3,1	0,8	1,9	2,0
Стеклянные шарики	Zetag-50 средне-катионный 0,76	3,1	0,8	4,5	4,7
Стеклянные шарики	Zetag-64 сильно-катионный 0,76	3,1	0,8	8,3	8,6
Гидроксид алюминия	Magnafloc-1011 Средне-анионный 2,8	0,4	0,995	1,9	120
Ферроцианид никеля	Magnafloc-919 Сильно-анионный 3,25	0,35	0,99	0,17	14
Суспензия	Флокулянт, ионная активность, оптимальная концентрация, мг/дм ³	Средний размер частиц $\bar{d}_p$, мкм	ρ	$U, 10^{-14}$ Дж	$U, 10^3$ Дж/м ²
Ферроцианид никеля	Magnafloc-1011 Средне-анионный 3,25	0,35	0,99	0,26	22
Ферроцианид никеля	Е-10 Слабо-анионный 3,25	0,35	0,99	0,50	40
Na-монтмориллонит	Е-10 Слабо-анионный 2,5	0,2	0,99	0,14	35
Na-монтмориллонит	Magnafloc-1011 Средне-анионный 2,5	0,2	0,99	0,17	43

Устройства, в которых осуществляется гидродинамическая обработка суспензии в процессе флокуляции, получили название флокуляторов. Их можно условно разбить на два основных класса: статические и динамические.

Флокуляция представляет собой один из наиболее мощных методов интенсификации процесса сепарации минеральных суспензий седиментацией и фильтрацией. В последнее время все большее распространение получает так

называемая «ультрафлокуляция» [1,2], отличающаяся от обычной флокуляции тем, что при ее осуществлении используют такие режимы гидродинамической обработки суспензии, при которых осредненный градиент скорости среды достигает нескольких тысяч обратных секунд. Использование столь сильно неоднородных гидродинамических полей позволяет в считанные секунды не только достичь равномерного распределения молекул флокулянта в объеме суспензии и на поверхности флокулируемых частиц, но и сформировать относительно большие и компактные флокулы [3]. При этом существенно сокращается не только время обработки суспензии, но и расход флокулянта. Как известно, максимальный размер и плотность флокул зависят не только режима гидродинамической обработки, но и от концентрации и дисперсного состава обрабатываемой суспензии [4,5]. В этой связи значительный практический интерес представляет зависимость оптимальных параметров гидродинамической обработки (длительности и интенсивности) от дисперсного состава и концентрации суспензии, обрабатываемой посредством ультрафлокуляции. Ниже приводятся результаты исследования этих аспектов ультрафлокуляции на примере суспензии кварца.

В соответствии с теорией ортокINETической коагуляции, средний размер агрегатов (флокул), образующихся в процессе флокуляции на ранних ее стадиях, в первом приближении можно оценить по уточненной формуле Смолюховского [5]:

$$D(t) = d \exp\left(\frac{4\varphi}{3\pi(1-p)}\right) G \cdot \alpha \cdot t \quad (1.2)$$

где d - исходный размер флокулируемых частиц взвеси;

D – текущий средний размер флокул;

p - их пористость;

t - время обработки суспензии;

φ – объемная концентрация взвеси;

G – осредненный градиент скорости среды;

α – вероятность связывания частиц и/или агрегатов при их столкновении (эффективность столкновения).

Из формулы (1.2) следует, что увеличение размера флокул происходит тем быстрее, чем больше объемная концентрация суспензии φ и градиент скорости среды G (интенсивность гидродинамической обработки). Поскольку с ростом флокул увеличиваются действующие на них вязкие напряжения, то с некоторого момента начинает проявляться вызываемый ими процесс дробления флокул. В результате, по прошествии некоторого времени от начала гидродинамической обработки, в суспензии устанавливается некоторое распределение флокул по размерам, причем максимальный размер флокул определяется соотношением между силами связи частиц во флокуле и вязкими

силами, действующими на флоккулы со стороны дисперсионной среды. Исходя из простых физических допущений в [5] было показано, что максимальный размер флоккула D_{max} можно оценить по формуле:

$$D_{max} = \frac{6U(1-p)^{2/3}}{\pi^2 \eta \cdot G \cdot d^2} \quad (1.3)$$

где η - динамическая вязкость среды;

U - парная энергия связи частиц во флоккуле.

Из формулы (1.3) следует, что при данном градиенте скорости среды G максимальный размер флоккул D_{max} тем больше, чем меньше их пористость p и чем меньше размер исходных частиц d . Таким образом, обработка суспензии, содержащей тонкодисперсную фракцию частиц, допускает использование гидродинамической обработки с большими градиентами скорости среды G , что, согласно формуле (1.2), может существенно сократить необходимое время процесса флоккуляции. Последнее особенно важно при флоккуляции относительно разбавленных суспензий ($\varphi < 10^{-3}$). В случае же обработки относительно концентрированных суспензий ($\varphi > 10^{-2}$) роль гидродинамической обработки состоит не столько в увеличении скорости образования флоккул, сколько в ускорении процесса равномерного распределения молекул флокулянта по всему объему суспензии и на поверхности частиц с тем, чтобы всех их вовлечь в процесс агрегирования. Очевидно, что если концентрация суспензии очень велика (например, $\varphi > 10^{-1}$) и при этом используется высокомолекулярный флокулянт, последний будет подаваться в суспензию в виде очень вязкого медленно разбавляющегося раствора. При слабой гидродинамической обработке (например, при $G < 100 \text{ с}^{-1}$) потребуется очень большое время, чтобы обеспечить высокое качество флоккуляции. При интенсивной же гидродинамической обработке (например, при $G > 3000 \text{ с}^{-1}$), распределение флокулянта произойдет очень быстро, но, при этом, флоккулы, также непрерывно образующиеся в суспензии, испытают многократные акты формирования и разрушения, что, как показано в [6,7], существенно снизит качество флоккуляции. Как следует из формулы (3), в случае тонкодисперсных суспензий ($d < 5 \text{ мкм}$) этот эффект должен проявляться в несколько раз слабее, чем в случае грубодисперсных (например, когда $d > 15 \text{ мкм}$).

Из вышеизложенного можно заключить, что оптимальные параметры гидродинамической обработки суспензий (время t и интенсивность G) в процессе ультрафлокуляции должны зависеть от её дисперсного состава и концентрации.

1.2 Статические флокуляторы

Наиболее простой тип флокуляторов, который можно использовать для гидродинамической обработки суспензии с целью ускорения процесса флокуляции и формирования флокул с желаемыми свойствами, представляет собой канал, в котором установлено множество препятствий, образующих лабиринт. Расположение препятствий, их ориентация и форма, а также скорость потока в канале определяют образующиеся в потоке градиенты скорости среды и, следовательно, условия ортокинетической флокуляции. На рис. 1.2 представлены статические флокуляторы (или статические миксеры) различных типов [21]. Как показано позициями (б) и (в), статический флокулятор может и не содержать внутри себя препятствия, как, например, статический флокулятор (а), а неоднородное (турбулентное) гидродинамическое поле в нем создается за счет наличия крутых (под 90%) поворотов. Количество и расстояние между препятствиями или поворотами, а также общую длину флокулятора подбирают в соответствии с требованиями к условиям гидродинамической обработки флокулируемой суспензии. В последнее время более популярным стало использование гладких витых трубчатых статических флокулянтов (г), преимущество которых состоит в дешевизне, простоте сборки и замены. В случае же, если требуется (в процессе флокуляции, протекающей по такому флокулятору суспензии) изменять условия гидродинамической обработки, то для этого последовательно соединяют несколько трубок разного диаметра и длины.

Существенным недостатком статических флокуляторов является невозможность их быстрой перенастройки в случае изменения требуемых условий гидродинамической обработки (например, при изменении типа и или концентрации суспензии, или расхода суспензии, протекающей через флокулятор). Кроме того, в статическом флокуляторе трудно создать высокие градиенты скорости среды, так как это требует повышенных давлений и/или большой длины флокулятора при значительном расходе суспензии. В связи с этим в последнее время приобретают популярность динамические флокуляторы (или динамические миксеры), которые используют вместо или в сочетании со статическими флокуляторами.

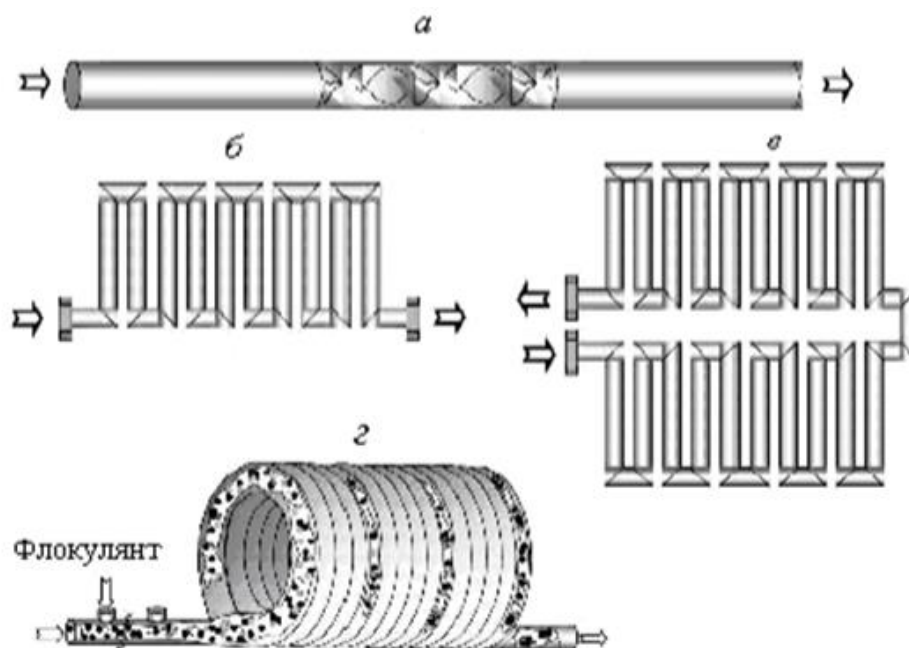


Рисунок 1.2 - Статические флокуляторы

1.3 Динамические флокуляторы

В отличие от статических флокуляторов, в которых неоднородное гидродинамическое поле создается за счет неподвижных препятствий на пути движущейся жидкости, в динамическом флокуляторе неоднородное гидродинамическое поле создается в основном за счет движущихся с регулируемой скоростью некоторых элементов устройства. Наиболее простой динамический флокулятор представляет собой одиночную камеру с перемешивающим устройством внутри (рис. 2, а).

Таким образом, режим гидродинамической обработки суспензии можно менять независимо от ее расхода путем изменения скорости вращения мешалки. Недостатком такого флокулятора является то что в различных участках его объема градиенты скорости среды очень разнятся между собой.

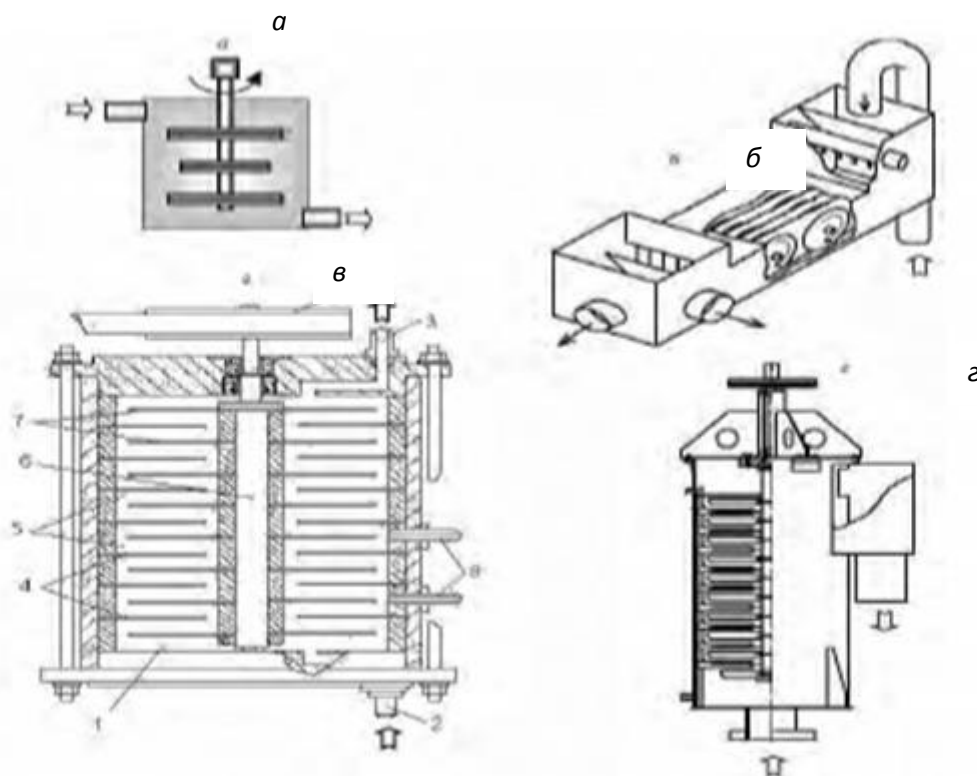


Рисунок 1.3 - Динамические миксеры: *а* - обычная мешалка, *б* - горизонтальный дисковый флокулятор; *в* - многокамерный вертикальный дисковый флокулятор; *г* - вертикальный игольчато-дисковый флокулятор.

Кроме того, есть большая вероятность попадания на выход плохообработанной порции суспензии. Во избежание этого, а также для гарантирования однородного (с заданным градиентом скорости среды) перемешивания в [22] был предложен многокамерный дисковый флокулятор (рис. 1.2, *в*), способный развивать градиенты скорости среды до нескольких десятков тысяч обратных секунд. Из этого рисунка видно, что ультрафлокулятор данной конструкции представляет собой цилиндрическую полость 1, имеющую вход 2 и выход 3 для обрабатываемой смеси и разделенную перегородками 4 на несколько сообщающихся камер 5, внутри которых на общем валу 6 вращаются диски 7. При необходимости различные флокулянты (например, анионный и катионный) могут подаваться непосредственно в камеры флокулятора через входы 8. Флокуляторы такого типа используют в системах очистки воды небольшой производительности (до 10 м³/ч), в частности, в промышленной установке ТФС-017/117 производства фирмы «Турбофлотсервис» для сепарации отработанных смазочно-охлаждающих водомасляных эмульсий (рис. 1.3.).



Рисунок 1.4 - Установка для флокулярно-микрофлотационной сепарации отработанных смазочно-охлаждающих водомасляных эмульсий

Для обработки больших количеств суспензии более целесообразно использование горизонтального дискового флокулятора, показанного на рис. 1.2, б. Такие флокуляторы предполагается использовать, например, для обработки хвостов углеобогащения с расходом до $1200 \text{ м}^3/\text{ч}$,

Фирмой «Турбофлотсервис» для обработки больших количеств относительно концентрированной (до 200 г/дм^3) суспензии разработан игольчато-дисковый флокулятор (см. рис. 1.4, г). Промышленный образец такого флокулятора, нашедший применение на углеобогатительных фабриках Украины и России, показан на рис.1.4.

2 Ультрафлокуляция

Как известно, основное преимущество флокулянтов перед коагулянтами состоит в том, что они обеспечивают более прочное связывание частиц суспензии в относительно упругую пористую структуру, которая обладает достаточно высокой сопротивляемостью к разрушению под действием механической обработки. Благодаря этим свойствам обработанные флокулянт суспензии значительно быстрее седиментируют; а осадок обладает более высокой плотностью и легче обезвоживается прессованием или центрифугированием, так как гидравлическое сопротивление его коа в процессе уплотнения растет значительно медленнее, чем у суспензий, обработанных коагулянт.



Рисунок 2.1 - Игольчато-дисковый флокулятор для обработки концентрированных суспензий

Вместе с тем флокулянты имеют один существенный недостаток - их молекулы, в силу огромной молекулярной массы, обладают очень низкой подвижностью, что создает трудности при смешивании исходного раствора флокулянта с суспензией и равномерном распределении его молекул в объеме обрабатываемой суспензии и, следовательно, на поверхности частиц.

В случае разбавленных суспензий ($<1\text{г/дм}^3$) проблемы флокулярной обработки усугубляются еще и тем, что существенно снижается частота столкновений флокулируемых частиц, а что приводит к значительному увеличению времени, необходимого для завершения процесса флокуляции.

Преодоление вышеописанных трудностей использования флокулянтов, как впервые было показано в [1,2], может быть достигнуто путём применения специальной гидродинамической обработки суспензии в процессе введения флокулянта и сразу после него. Такая обработка, получившая название ультрафлокуляции [13,14], позволяет не только быстро и равномерно распределить молекулы флокулянта по объёму суспензии, но и создать благоприятные условия для ускоренного формирования шютноупавших и прочных флокул. При этом практически все частицы оказываются в связанном состоянии, что существенно облегчает дальнейшее обезвоживание осадка. В работе [23] на примере тонкодисперсных разбавленных ($< 1\text{г/дм}^3$) суспензий гидроксида алюминия, ферроцианида никеля и Na-монтмориллонита было показано, что, комбинируя кратковременную (5 - 6 с) ультрафлокулярную обработку в динамическом флокуляторе (при градиентах скорости среды $G \approx 2500\text{ с}^{-1}$) с обычной флокулярной обработкой (до 15 - 20 с) в трубчатых статических флокуляторах (с убывающим значением градиента скорости среды от 1000 до 30 с^{-1}), удастся добиться: повышения скорости седиментации сфлокулированной суспензии более чем в два раза; снижения остаточной концентрации твердого в воде в 4 - 10 раз; уменьшения расхода флокулянта в 2 - 3 раза, а также удельного объема осадка в 1,5-2 раза.

Водное хозяйство газоочисток на большинстве металлургических заводов представляет собой замкнутый цикл водоснабжения, включающий в свой состав водоочистные сооружения (преимущественно радиальные отстойники) и сооружения по обработке шламов. Основными загрязнителями сточных вод, например, конвертерных газоочисток, являются взвешенные вещества минерального происхождения. По своему гранулометрическому составу взвешенные вещества состоят из очень мелких частиц, более 90% которых составляют частицы размером менее 50 мкм. Для интенсификации процесса осветления сточных вод в отстойниках используют флокулянты, которые, с одной стороны, увеличивают их производительность, а, с другой, снижают содержание взвешенных веществ в сливе. В процессе отстаивания сточных вод образуется значительное количество шламов, которые являются ценным сырьем для металлургической промышленности.

После обезвоживания, сушки и брикетирования они могут быть использованы в конвертерном производстве. Из возможных методов обезвоживания осадков сточных вод рациональным, в настоящее время, считается обезвоживание на барабанных вакуум-фильтрах, которые позволяют снизить влажность осадка с 60-70 до 26-35%. Использование флокулянтов в

этом процессе позволяет существенно увеличить производительность вакуум-фильтров при одновременном снижении влажности кека, а также снизить количество взвешенных частиц в фильтрате.

В последние годы в технологии сепарации техногенных суспензий все более широкое распространение получает т.н. ультрафлокулярная (УФ) обработка [1-5]. Было установлено, что эффективность использования флокулянтов в процессах седиментационной и фильтрационной сепарации фаз суспензии в значительной мере зависит от режима гидродинамической обработки суспензии (градиента скорости среды) после введения в нее раствора флокулянта. Было показано [6, 7], что правильный подбор режима УФ-обработки позволяет в несколько раз увеличить производительность отстойника и существенно снизить содержание взвеси в сливе. Кроме того, доказано [8, 9], что УФ-обработка позволяет в 1,5-2 раза увеличить производительность вакуумных и ленточных пресс-фильтров и существенно снизить при этом расход дорогостоящих флокулянтов. Ниже приводятся результаты исследования эффективности УФ-обработки при сепарации фаз суспензий, образующихся в системе газоочистки конвертера.

Эксперименты по выявлению наиболее эффективного флокулянта проводились с помощью прибора «УльтрафлокТестер-2010». Образец суспензии и раствор флокулянта с помощью перистальтических насосов УльтрафлокТестера непрерывно прокачивались через цилиндрический флокулятор Куэтта, где они смешивались и гидродинамически обрабатывались в течение 5 секунд. Изменяя расход флокулянта (при постоянном расходе образца $1,1 \text{ см}^3/\text{с}$) можно было менять его дозировку, а изменяя скорость вращения ротора флокулятора, можно было менять интенсивность гидродинамической обработки суспензии (осредненный градиент скорости среды от 300 до 13000 с^{-1}). С помощью оптического датчика прибора измерялись флуктуации прозрачности потока суспензии и степень ее осветления. Сигнал от оптического датчика обрабатывался и высвечивался на табло прибора в виде целого числа (от 0 до 120), пропорционального относительному размеру флоккул, сформированных во флокуляторе.

В результате тестирования флокулянтов производства фирм "BASF", «Ashland» и «SNF», было установлено, что наиболее эффективными для обработки исследуемых суспензий являются продукты фирмы «Ashland» (ФРГ): «Praestol 2510, 2620 и 2515». Зависимости эффективности флокуляции от расхода флокулянта для флокулянтов: «Praestol 2510» («Ashland»), «Magnaflow 525» («BASF») и «AN 945» («SNF») показано, что пороги флокуляции указанных флокулянтов возрастают от 135 г/т для «Praestol 2510», до 200 г/т для «Magnaflow 525» и до 235 г/т для «AN 945». В дальнейшем все эксперименты по флокуляции исследуемых суспензий проводились с флокулянтом «Praestol 2510».

Как известно, эффективность процесса флокуляции зависит не только от типа и дозировки флокулянта, но и от режима гидродинамической обработки. В качестве подтверждения такого предположения установлено, что для суспензии, концентрация которой составляет 115 г/л, оптимальное значение градиента лежит в диапазоне 1300-1500 с⁻¹.

Оценка эффективности УФ-обработки шламowego осадка на его способность отдавать воду осуществлялась с помощью лабораторного мини-пресс-фильтра. В процессе измерения суспензия, обработанная во флокуляторе прибора «УльтрафлокТестер-2010» при заданном расходе флокулянта и градиенте скорости среды в течение 5 секунд, направлялась по трубке в цилиндрическую камеру пресс-фильтра в количестве, равном, примерно, 12 см³. На дне камеры пресс-фильтра (в котором имелось несколько отверстий диаметром 3 мм) предварительно располагалась сетка (0,5 мм), поверх которой укладывалась фильтрующая ткань (промышленный образец). После этого, в камеру вставлялся поршень, на который опирался рычаг, который с помощью груза на его конце создавал давление в камере, равное 6 барам. Время выдержки такого давления во всех экспериментах составляло 1 минуту. Жидкая фаза и часть твердой фазы, вытекшие из камеры фильтра собирались в коллекторе, расположенном под днищем камеры. После этого кека извлекали из камеры фильтра и измеряли его влажность и сухой вес (M). Суспензию, собранную в коллекторе отфильтровывали, высушивали и измеряли сухой вес осадка (m). Степень задержки фильтра (R) оценивали по формуле: $R=M/(M+m)$.

Результаты измерений зависимостей степени задержки твердого на фильтре и влажности кека показали, что при флокуляции концентрированной суспензии (230 г/л), оптимальное значение расхода флокулянта лежит в диапазоне 750-850 г/т, или, примерно, 170-200 г/м³, что, примерно, в 2,5 раза больше, чем при обработке суспензии с концентрацией твердого в 115 г/л. Для определения оптимальных условий гидродинамической обработки были измерены зависимости степени задержки твердого на фильтре и влажности кека от градиента скорости среды во флокуляторе при расходе флокулянта, равном 700 г/т (160 г/м³). Поскольку при оптимальном расходе флокулянта степень задержки составляла значение, близкое к 100%, независимо от градиента скорости среды. Установлено, что минимальная влажность кека (т.е. максимальная влагоотдача сфлуккулированной суспензии) достигается при градиентах скорости среды, лежащих в диапазоне 3000-3500 с⁻¹.

Для определения влияния ультрафлокулярной обработки суспензии на скорость седиментации взвеси и степень осветления водной фазы использовалась экспериментальная схема. Суспензия (280 мг/л) обрабатывалась в проточном режиме во флокуляторе прибора «УльтрафлокТестер-2010» в течение 5 секунд и направлялась в мерный цилиндр высотой 30 см и емкостью 300 мл. Доза флокулянта («Praestol 2510») составляла 0,3 мг/л. После

заполнения цилиндра суспензии давали отстояться в течение 30 минут, после чего с помощью сифона верхний осветленный слой воды декантировали (до уровня в 5 см) и определяли концентрацию в нем взвешенных веществ. Показано, что гидродинамическая обработка суспензии при градиентах скорости менее 500 с^{-1} дает примерно тот же результат, что и необработанная флокулянт суспензия (123 мг/л). В случае же обработки суспензии (с флокулянт) при градиентах скорости среды в диапазоне: 1700-2300 с^{-1} достигается остаточная концентрация взвеси – менее 20 мг/л даже при относительно небольшом расходе флокулянта (0,3 мг/л).

Шламовые воды являются дисперсными системами, состоящими из дисперсной фазы и дисперсионной среды, в которых дисперсной фазой являются угольные частицы, а дисперсионной средой - технологическая вода. Обычно для этой цели используют высокомолекулярные флокулянты, позволяющие существенно повысить эффективность очистки технологических вод углеобогащения. Успешная реализация этого процесса возможна только при наличии теоретических основ управления агрегативной устойчивостью угольно-глинистых суспензий [1].

3 Экспериментальная часть

В работе использовались флокулянты серии «Superfloc» финского производителя Kemira, представляющие собой сополимеры полиакриламида высокой молекулярной массы с различной степенью ионности (табл.3.1). Приготовление раствора флокулянтов серии проходило при температуре 60-70 °С.

Характеристики применяемых суперфлокулянтов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Характеристики использованных суперфлокулянтов фирмы Kemira

Суперфлокулянты	Тип	Молекулярная масса, $M \cdot 10^{-6}$	Плотность заряда, мол. %
C-494-80	Катионный	11–12	80
A-150-7	Анионный	14–15	7
A-150-15	Анионный	14–15	15

В качестве объекта исследования служили угольные шламы с различной концентрации дисперсной фазы. В данной работе проведены исследования по интенсификации сточных вод от угольного шлама с использованием ультрафлокуляционной обработки.

Изучение распределения частиц по размерам угольного шлама осуществлялось на приборе «Photocor-Compact» (рис.1).

Для выполнения лабораторного тестирования использовались образцы суспензии угольного шлама дисперсным составом частиц 22 мкм - 86,1%, 1000 мкм - 11,6% и $<<1$ мкм - 2,4% и концентрацией твердого – 30 г/л (рис.3.1).

Для исследования эффективности процесса ультрафлокуляции суспензий применялся прибор «УльтрафлокТестер-2010, разработанный украинской фирмой «Турбофлотсервис» (рис. 3.2), включающий минифлокулятор и оптоэлектронный механизм фиксирования эффективности флокуляции по среднему размеру флокул и степени осветления воды. Посредством данного прибора можно не только устанавливать оптимальный тип и дозировку флокулянта, но и фиксировать оптимальный режим гидродинамической обработки конкретной суспензии.

При помощи внутри приборных перистальтических насосов, исследуемый образец суспензии и подготовленный раствор флокулянта непрерывно проходят через ультрафлокулятор, в котором они смешиваются и обрабатываются в гидродинамическом потоке на протяжении заданного (3 - 12 с) времени. На

выходе обработанный образец, проходя через оптический датчик, анализируется, и таким образом, определяется эффективность протекания флокуляции. Принцип работы оптического датчика заключается в распознавании флуктуации прочности потока проходящего после обработки образца. Данные из оптоэлектронного механизма появляются на табло прибора в виде численного значения (от 1 до 99).

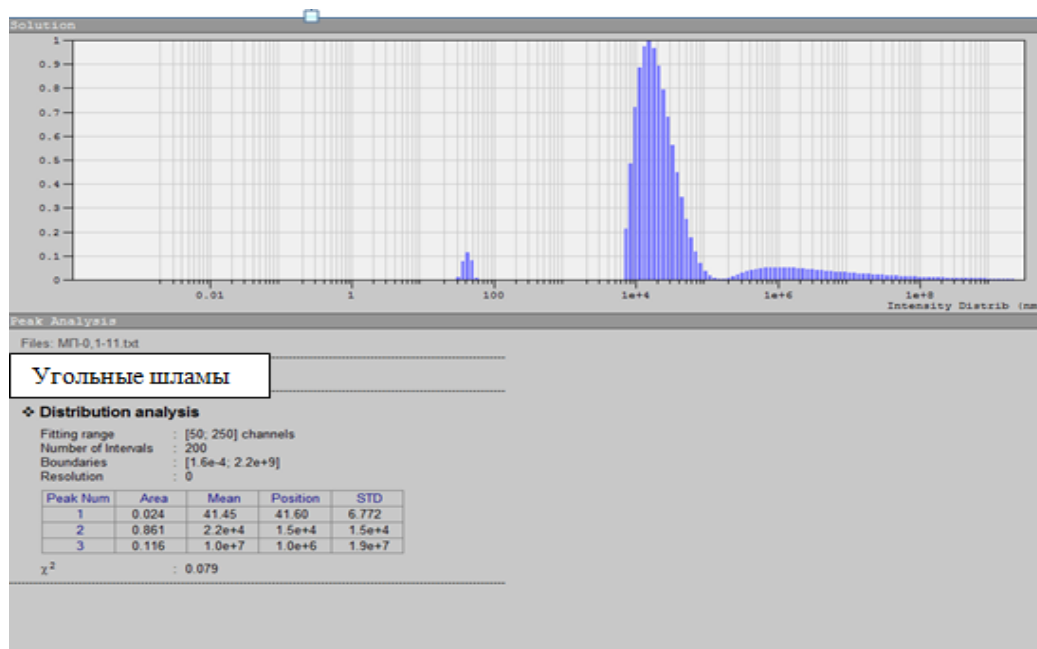


Рисунок 3.1 - Распределение частиц по размерам угольного шлама, определенное на приборе «Photocor-Compact»

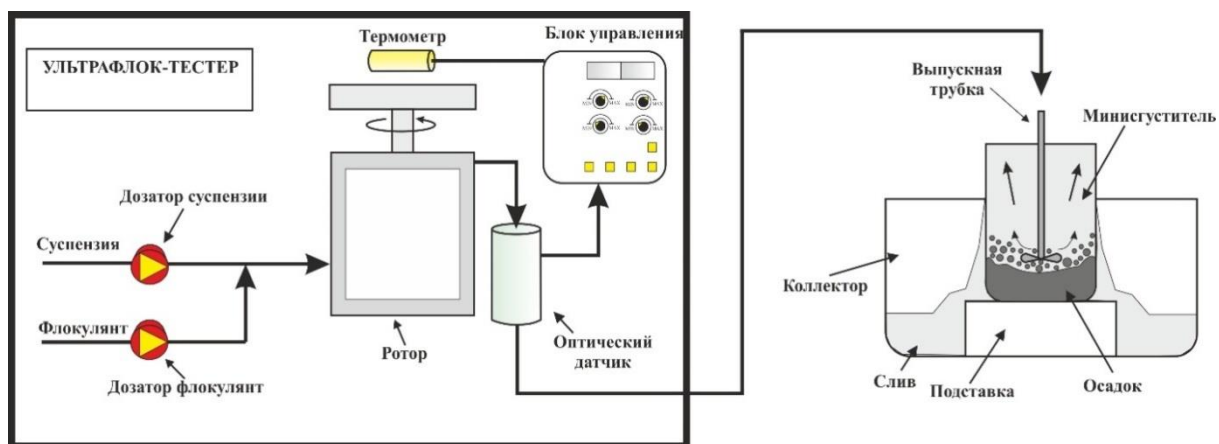


Рисунок 3.2 - Функциональная схема прибора «УльтраФлок-Тестер»

В блоке управления ультрафлоктестера (при постоянном расходе пульпы 1 см³/с) предусмотрена возможность изменения дозировки флокулянта,

скорости оборотов ротора прибора и регулирования интенсивности гидродинамической обработки суспензии (осредненный градиент скорости среды от 100 до 10000 с⁻¹).

3.1 Методика измерения размера частиц

Анализаторы серии Photocor предназначены для измерения следующих характеристик дисперсных частиц: размер частиц, дзета-потенциал частиц, молекулярная масса полимеров, коэффициент диффузии.

Принцип работы анализаторов основан на методе статического и динамического рассеяния света (фотонной корреляционной спектроскопии). Размер диспергированных в жидкости частиц и молекулярная масса полимерных молекул определяется измерением корреляционной функции флуктуаций интенсивности рассеянного света и интегральной интенсивности рассеяния. Диапазон измеряемых размеров находится в пределах от 1 нм до 5-10 мкм. Мощность лазера анализатора находится в диапазоне от 2 до 35 мВт.



Рисунок 3.3 – Процесс измерения размеров частиц на анализаторе «Photocor Compact»

Технические характеристики:

- диапазон измерения: от 1 нм до 10 мкм (зависит от оптических характеристик исследуемых образцов);
- типичная погрешность измерения: $\pm 1\%$;
- объем образца: от 10 мкл до 10 мл;
- углы рассеяния: 90°;
- анализ сигналов: встроенный коррелятор Photocor-FC (USB интерфейс);

- фотоприемник: термостабилизированная высокочувствительная система счета фотонов;
- лазер: термостабилизированный диодный лазер: 650 нм, 25 мВт;
- размеры вес потребляемый ток: 320 x 300 x 120 мм / 8.0 кг / 100220 В, 80 Вт.

Для измерения размеров нано-частиц используется метод динамического рассеяния света (ДРС). Данный метод позволяет определить коэффициент диффузии дисперсных частиц в жидкости путем анализа корреляционной функции флуктуаций интенсивности рассеянного света. Далее, из коэффициента диффузии рассчитывается радиус нано-частиц.

Основные идеи метода динамического рассеяния света:

Броуновское движение дисперсных частиц или макромолекул в жидкости приводит к флуктуациям локальной концентрации частиц. Результатом этого являются локальные неоднородности показателя преломления и соответственно - флуктуации интенсивности рассеянного света при прохождении лазерного луча через такую среду.

Коэффициент диффузии частиц обратно пропорционален характерному времени релаксации флуктуаций интенсивности рассеянного света. Это характерное время, в свою очередь, есть время затухания экспоненциальной временной корреляционной функции рассеянного света, которая измеряется с помощью цифрового коррелятора (рисунок 6).

Размер частиц (гидродинамический радиус) рассчитывается по формуле Стокса-Эйнштейна, которая связывает размер частиц с их коэффициентом диффузии и вязкостью жидкости.

Метод динамического рассеяния света используется также для измерения скоростей потоков жидкостей и газов. Традиционно, этот вариант метода носит название лазерной доплеровской анемометрии (ЛДА). В частности, данная конфигурация метода ДРС используется для измерения электрофоретической подвижности нано-частиц, откуда рассчитывается их дзета-потенциал.

В качестве примера рассмотрим диффузию монодисперсных наночастиц, диспергированных в жидкости. Хаотическое броуновское движение дисперсных частиц приводит к микроскопическим флуктуациям их локальной концентрации и соответствующим локальным неоднородностям показателя преломления среды. При прохождении лазерного луча через такую среду часть света будет рассеяна на этих неоднородностях. Флуктуации интенсивности рассеянного света будут соответствовать флуктуациям локальной концентрации дисперсных частиц. Информация о коэффициенте диффузии частиц содержится в зависящей от времени корреляционной функции флуктуаций интенсивности. Временная автокорреляционная функция согласно определению имеет следующий вид:

$$G(\tau) = \langle I(0)I(t-\tau) \rangle = \lim_{t_m \rightarrow \infty} \frac{1}{t_m} \int_0^{t_m} I(t)I(t-\tau) dt \quad (3.1)$$

где I – интенсивность имеет различные значения во время t и $(t-\tau)$.

t_m - это время интегрирования (время накопления корреляционной функции).

Очевидно, что при $\tau = 0$, автокорреляционная функция равна среднеквадратичной интенсивности рассеяния $\langle I^2 \rangle$.

В соответствии с гипотезой Онзагера, релаксация микроскопических флуктуаций концентрации к равновесному состоянию может быть описана первым законом Фика.

Корреляционная функция интенсивности рассеянного света (для случая квадратичного детектирования) имеет вид:

$$G(\tau) = a \exp\left(\frac{-2\tau}{t_c}\right) + b \quad (3.2)$$

где в соответствии с решением уравнения диффузии обратное время корреляции равно:

$$\frac{1}{t_c} = D_t q^2 \quad (3.3)$$

Волновой вектор флуктуаций концентрации описывается выражением:

$$q = \frac{4\pi n}{\lambda} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (3.4)$$

В выражениях 2-4: a и b - экспериментальные константы, n - показатель преломления жидкости, в которой взвешены дисперсные частицы, λ - длина волны лазерного света и θ - угол рассеяния.

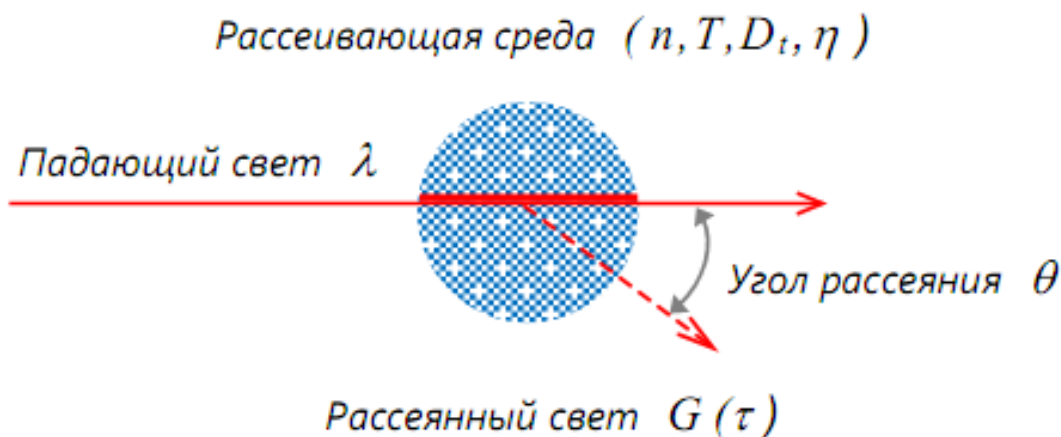


Рисунок 3.4 - Схема процесса рассеяния света

Для сферических не взаимодействующих между собой частиц размер их может быть рассчитан с использованием формулы Стокса-Эйнштейна:

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta R} \quad (3.5)$$

где k_B - константа Больцмана;

T - абсолютная температура;

η - сдвиговая вязкость среды, в которой взвешены частицы радиуса R .

Из формулы Стокса-Эйнштейна понятно, что с помощью динамического рассеяния света можно решать задачи измерения вязкости жидкости. Для случая рассеяния света на дисперсных частицах известного размера, измеренное характерное время флуктуаций позволяет рассчитать вязкость жидкости. Причем в данном случае можно говорить о микрореологической вязкости, которая, в принципе, может отличаться от вязкости, измеренной на макроскопических масштабах. Проблема аппроксимации экспериментальных данных проста для рассмотренного случая рассеяния света монодисперсными сферическими частицами. Для полидисперсных образцов интерпретация экспериментальных данных усложняется. Для реально достижимой точности измерений могут быть получены только два-три параметра одномодульного полидисперсного распределения: средний размер частиц, ширина и асимметрия распределения. Для многомодульных полидисперсных систем можно говорить о средних размерах частиц каждой компоненты и относительном вкладе каждой компоненты в интенсивность рассеяния. Важно отметить, что два близких размера частиц полидисперсной системы будут разрешаться в виде отдельных компонент только, если их размеры отличаются друг от друга не менее чем в 2-3 раза. Методика работы - кювета с исследуемым раствором помещается в

кюветное отделение анализатора. Свет от лазера, проходя через раствор, рассеивается на полимерных молекулах или дисперсных частицах, имеющих в растворе. Рассеянный свет принимается системой счета фотонов, сигнал с выхода которой подается на вход коррелятора. Коррелятор накапливает корреляционную функцию флуктуаций интенсивности рассеянного света.

По завершении выбранного времени измерения корреляционная функция передается в компьютер. Компьютер рассчитывает размер частиц или молекулярную массу полимерных молекул, обрабатывая измеренную корреляционную функцию.

Левое верхнее окно программы (Data and fitted curve) отображает измеренную корреляционную функцию (точки) и результат обработки (сплошная линия). В данном окне представлены исходные экспериментальные данные, полученные при измерении, и результаты обработки.

В левом нижнем окне (Residuals) отображается расхождение экспериментальных данных с выбранной моделью обработки. Данный график позволяет оценить точность обработки и адекватность выбранной модели.

В правом верхнем окне (Solution) графически представлены результаты обработки в виде пиков с различной амплитудой и шириной распределения, положение которых на шкале абсцисс соответствует гидродинамическому радиусу частиц. В этом окне в графическом виде отображаются результаты обработки экспериментальных данных методом регуляризации (в виде синих маркеров). Данные по размерам частиц представляется в виде гистограммы. Ниже в таблице представлены результаты обработки в текстовом виде. В столбце Area указан вклад в процентном отношении для каждого размера частиц. Обработка методом Distribution Analysis - в случае обработки данных методом Distribution Analysis результаты будут представлены в виде распределения частиц по размерам. Данный метод особенно подходит для случаев, когда отсутствует предварительная информация о диапазоне размеров частиц в образце.

4 Обсуждение результатов

Широкое применение обогащения тонких угольных шламов флотацией способствовало практически повсеместному внедрению на углеобогадательных фабриках замкнутого водно-шламового цикла водоснабжения с флокуляцией отходов флотации [1,2]. Обычно тонкодисперсные угольные шламы в виде суспензии с содержанием твёрдой фазы 30-60 г/л поступают на осветление в радиальные сгустители. Осветлённую шламовую воду (слив сгустителей) направляют в бак оборотной воды и далее – в оборотный технологический цикл фабрики.

Для повышения скорости отстаивания частиц тонких шламов и практически полного их удаления из осветлённой воды, направляемой в оборотный цикл, в суспензию, поступающую в радиальный отстойник, добавляют реагенты: чаще всего синтетические полимеры. При этом, как правило, применяют флокулянты с зарядом от нейтрального до средне анионного [3] или же их комбинацию с катионным коагулянтом.

В лабораторных условиях проведены исследования влияния различных флокулянтов на эффективность осветления шламовых вод и сгущения отходов флотации в условиях радиальных сгустителей на углеобогадательной фабрике, обогащающих коксующиеся угли Карагандинского угольного бассейна, и выбор оптимального режима реагентной обработки. В настоящее время на фабрике применяют анионный полимер MF-156, дозировка которого составляет 10 г/т суспензии, поступающей в радиальные сгустители.

Для интенсификации процесса отстаивания и снижения твердого в сливе лабораторных условиях были испытаны флокулянты различных марок.

В стеклянные мерные цилиндры объемом 0,5 дм³, шламовой водой до определенной метки - 500 мл, подавали 0,05% водный раствор флокулянта при различных значениях его расхода. После тщательного перемешивания пульпы в цилиндрах вводился заданный объем флокулянта, и после дополнительного перемешивания мешалкой включался секундомер, и осуществлялось наблюдение за скоростью оседания границ раздела твердой и водной фазы.

На первом этапе лабораторное тестирование проводили для выбора наиболее эффективного флокулянта. Наилучшие результаты по качеству осветлённой шламовой воды были получены при добавлении флокулянта А-150-7 (таблица 1).

Как видно из таблиц 1 приблизительно при одинаковой молекулярной массе анионные флокулянты А-150-7 и А-150-15, но различающиеся по заряду полимеры влияют на скорость осаждения угольного шлама совершенно по-разному. Например, при оптимальной дозе флокулянтов равной 10 г/т скорость осаждения шлама в присутствии анионного флокулянта А-150-7 превышает в 2 раза, анионного флокулянта марки А-150-15, и 3 раза катионного флокулянта С-

496-80 и фабричного флокулянта MF-156. Это можно объяснить тем, что у анионного флокулянта функциональной группой является карбоксильная группа, при минимальном количестве которой полимерная цепь является более гибкой и может захватить большое количество частиц за счет мостичной связи. При большом количестве карбоксильной группы в полимерной цепи отрицательно заряженные группы взаимно отталкиваются и частично теряют гибкость цепи, что приводит к меньшему захвату шламовых частиц. Сильнозаряженный катионный флокулянт С-496-80 практически полностью теряет гибкость полимерной цепи, т.е. образует жесткую цепь что значительно ухудшает процесс флокуляции.

Таблица 4.1 - Результаты скорости осаждения (см/мин) угольного шлама с концентрацией твердого 30 г/л в присутствии различных флокулянтов

Расход, флокулянта, г/г	Наименование флокулянта			
	А-150-15, см/мин	А-150-7, см/мин	С-496-80, см/мин	Фабричный MF-156, см/мин
2	0,27	0,31	0,11	0,15
5	0,45	0,65	0,35	0,9
10	0,98	1,63	0,72	0,83
20	0,89	1,1	0,57	0,68
30	0,84	0,87	0,51	0,61

Далее для улучшения технологических параметров сгущения шламовой воды исследования проводили на приборе Ультрафлотестер изменяя скорости гидродинамической обработки суспензии, которая позволяет добиться высокого уровня осветления воды при минимальном расходе флокулянта в короткий промежуток времени.

Все эксперименты осуществлялись с помощью прибора «УльтрафлотТестер» производства фирмы «Турбофлотсервис», функциональная схема которого представлена на рисунке 1.

Данный аппарат работает следующим образом: исследуемая суспензия и раствор флокулянта с помощью дозирующих насосов непрерывно смешиваются и подаются во флокулятор, где они подвергаются интенсивной гидродинамической обработке в течение 5-7 сек, затем проходя через оптический датчик данные обрабатываются и сигнал поступает в блок управления. Здесь он обрабатывается и высвечивается в виде двухзначного числа на цифровом табло прибора, показывая эффективность флокуляции. Другое табло прибора показывает частоту вращения ротора флокулятора, регистрируемую с помощью оптоэлектронного тахометра.

Исследуемая суспензия и раствор флокулянта с помощью имеющихся в приборе дозирующих насосов непрерывно смешивались в заданном

соотношении и пропускались через цилиндрический флокулятор Куэтта (диаметр и высота ротора – 28 мм, ширина зазора -1,5 мм), где они подвергались гидродинамической обработке заданной интенсивности в течение заданного времени. Для оценки относительного размера флоккул, формирующихся за время обработки суспензии во флокуляторе, в приборе применен метод, впервые предложенный и теоретически обоснованный J. Gregory and D.W. Nelson [4]. В соответствии с этим методом, суспензия, выходящая из флокулятора, сразу же пропусклась через оптоэлектронный датчик, который регистрировал флуктуации интенсивности светового луча, пропускаемого сквозь непрерывный поток суспензии, движущейся в прозрачном круглом канале диаметром 3 мм.



Рисунок 4.1 - Ультрафлок-Тестер

Фотоэлектрический сигнал от оптического датчика обрабатывался и высвечивался в виде двузначного числа на цифровом табло, показывая в относительных единицах величину «эффективности флокуляции», которая, в первом приближении, пропорциональна осредненному размеру флоккул. На лицевой панели блока управления имелось также табло, на котором отражалась частота вращения ротора флокулятора, по которой (с помощью соответствующей калибровочной зависимости) определялся осредненный градиент скорости среды G .

В таблице 4.2 представлены результаты скорости осаждения угольного шлама в присутствии эффективного флокулянта А-150-7 разного расхода и различной скоростью гидродинамической обработки с помощью прибора Ультрафлоктестер. Время обработки составило 10 сек. Как видно из таблицы 2 с увеличением интенсивности скорости гидродинамической обработки от 500 до 1500 с^{-1} во всех случаях скорость осаждения шлама растет, а при значении $G = 1500 \text{ с}^{-1}$ падает, что может быть обусловлено частичным разрушением агрегатов флоккул. Поэтому оптимальным значением скорости гидродинамической

обработки шламовую воду указанным флокулянтom является 1000 с^{-1} . При оптимальной скорости гидродинамической обработки равной 1000 с^{-1} скорость осаждения шлама в присутствии флокулянта А-150-7 при времени обработки 10 сек скорость осаждения увеличивается при оптимальном расходе флокулянта 5 г/т в 5 раз, а расход флокулянта уменьшается в 2 раза (сравни таблицы 1 и 2) по сравнению без обработки на Ультрафлоктестера.

Таблица 4.2 - Изменение скорости осаждения (см/мин) угольного шлама с концентрацией твердого 30 г/л с помощью прибора Ультрафлоктестер в присутствии флокулянта А-150-7

Расход флокулянта А-150-7, г/т	Скорость гидродинамической обработки, $G, \text{с}^{-1}$		
	500 с^{-1} , см/мин	1000 с^{-1} , см/мин	1500 с^{-1} , см/мин
2	0,2	0,5	0,7
5	1,5	8,1	3,8
10	2,7	6,9	3,6
20	2,5	5,5	2,4
30	2,1	4,9	2,0

Еще одним важным показателем эффективности флокуляции является содержание твердого в сливе, т. е чистоты очистки оборотной воды от шламовых частиц. Полученные результаты с помощью изученных флокулянтов представлены в таблице 3.

Таблица 4.3 - Результаты содержания твердого в сливе, мг/л, при сгущении угольного шлама с концентрацией твердого 30 г/л в присутствии различных флокулянтов

Расход, флокулянта А-150-7, г/т	Наименование флокулянта			
	А-150-7, мг/л	А-150-15, мг/л	С-496-80, мг/л	Фабричный MF-156, мг/л
2	168	396	410	430
5	114	224	382	385
10	105	218	328	338
20	110	172	395	393
30	125	176	408	406

Установлено, что анионный флокулянт А-150-7 в 2 раза меньше содержит твердого в сливе, чем флокулянт А-150-15 и 3 раза меньше, чем флокулянты 496-80 и MF-156 (таблица 3). Лучшие результаты получаются при использовании Ультрафлоктестера: при скорости сдвига 1000 с^{-1} существенно снижается содержание твердого в сливе почти в 6 раз, а расход анионного

флокулянта А-150-7 в 2 раза меньше (сравни таблицы 3 и 4). Время обработки - 10 сек.

Таблица 4.4 - Результаты содержания твердого в сливе, мг/л, при сгущении угольного шлама с концентрацией твердого 30 г/л с помощью прибора Ультрафлотестер в присутствии флокулянта А-150-7

Расход, флокулянта А-150-7, г/т	Скорость гидродинамической обработки, G, с ⁻¹		
	500 с ⁻¹ , мг/л	1000 с ⁻¹ , мг/л	1500 с ⁻¹ , мг/л
2	95	67	104
5	73	18	96
10	61	22	105
20	101	44	116
30	121	57	136

Таким образом, в лабораторных условиях было проведено тестирование порошкообразных анионных флокулянтов, различающихся молекулярной массой и зарядом, с целью выбора оптимального режима обработки тонкодисперсных угольных шламов при осветлении оборотной воды в радиальных сгустителях. Флокулянт А-150-7 позволяет интенсифицировать процесс разделения жидкой и твёрдой фаз без ухудшения качества осветлённой шламовой воды.

Наилучшие результаты степени осветления водной фазы от угольных шламов, дает технология, при которой последовательно обрабатывают в ультрафлокуляторе с применением анионного флокулянта А-150-7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В работе использовались флокулянты серии «Superfloc» финского производителя Kemira, с высокой молекулярной массы с различной степенью ионности. Приготовление раствора флокулянтов проходило при температуре 60-70 °С.

2. В качестве объекта исследования служили угольные шламы с различной концентрации дисперсной фазы. Проведены исследования по интенсификации сточных вод от угольного шлама с использованием ультрафлокуляционной обработки.

3. Для выполнения лабораторного тестирования использовались образцы суспензии угольного шлама дисперсным составом частиц 22 мкм - 86,1%, 1000 мкм - 11,6% и $\ll 1$ мкм - 2,4%, определенные на приборе «Photocor-Compact»

4. При оптимальной дозе всех изученных флокулянтов равной 10 г/т скорость осаждения угольного шлама в присутствии эффективного анионного флокулянта А-150-7 в 1,5 раза больше, чем анионного флокулянта марки А-150-15 и 2 раза больше, чем катионный флокулянт С-496-80 и фабричный анионный флокулянт MF-156. При оптимальной скорости сдвига среды равной 1000 с^{-1} , осуществляющего с помощью прибора Ультрафлотестери времени обработки 10 сек скорость осаждения шлама увеличивается в 5 раз в присутствии флокулянта А-150-7, а его расход уменьшается в 2 раза.

5. Установлено, что анионный флокулянт А-150-7 также в 2-3 раза снижает концентрацию твердого вещества в сливной воде, по сравнению выше названных флокулянтов. Лучшие результаты получаются при использовании Ультрафлотестера: при скорости сдвига 1000 с^{-1} концентрация твердого в сливной воде снижается почти в 6 раз, а расход анионного флокулянта А-150-7 уменьшается в 2 раза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Байченко А.А., Иванов Г.В. Флокулярная флотация тонких угольных шламов // Материалы научно-технической конференции. -1999. Кемерово. - С.9-29.
2. Берлинтейгер Е.С. Использование флокулянтов для обезвоживания угольных шламов. Химическая промышленность. - 2004. - Т.81. - №11. -С.65-68.
3. Субботин В.В., Петухов В.Н. Исследование влияния эффективности флокулянтов при обогащении угольного шлама // Технология переработки и утилизации техногенных образований и отходов. Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. - 2014. - № 2. -С.20-24.
4. Gregory J. and Nelson D.W. A new method for flocculation monitoring. Solid-Liquid Separation. Ellis Harwood. Chichester. - 1984. - P. 172-182.
5. Байбородин, А. М. (2014). Локальная очистка сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий методом коагуляции. канд. техн. наук. Архангельск, 134 с.
6. Бузаева, М. В. (ред.) (2008). Основы промышленной экологии: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Основы промышленной экологии». Ульяновск: УлГТУ.
7. Бутова, С. А. (ред.) (1997). Флокулянты. Свойства. Получение. Применение. М.: Стройиздат.
8. Гандурина, Л. В. (ред.). (1980). Водорастворимые полимеры, их свойства и области применения (обз. инф.). Вып. 12 (182). М.: НИИТЭХИМПИ.
9. Гандурина, Л. В. (ред.) (2000). Органические флокулянты в технологии очистки природных и промышленных сточных вод, и обработки осадка (обз. инф.). Вып. 2. М.: ВНИИ НТПИ.
10. Rulyov N.N. "Application of ultra-flocculation and turbulent micro-flotation to the removal of fine contaminants from water", Colloids & Surfaces A, Vol. 151, 1999a, 283-291
11. Герасимов, Г. Н. (2001). Процессы коагуляции-флокуляции при обработке поверхностных вод. Водоснабжение и санитарная техника, № 3, С. 1–5.
12. Запольский А. К., Баран А. А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: свойства, получение, применение. // Л.: Химия. 1987. 208 с.
13. Rulyov N.N. "Hydrodynamic destruction of waste emulsions in the process of their separation through ultra-flocculation and micro-flotation", Colloids & Surfaces A, Vol. 152, 1999b, 11-15.
14. Rulyov N.N. Ultra-flocculation: Theory, Experiment, Applications. In book "Particle Size Enlargement in Mineral Processing" (Proceedings of the 5-th UBC – McGill Biennial International Symposium on Fundamentals of Mineral, August 22-

25, 2004, Hamilton, Ontario, Canada, Edited by J.S. Laskowski), Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montreal, Canada, 2004. -P. 197-214.

15. Rulyov N.N., Maes A., Korolyov V. J. Optimization of hydrodynamic treatment regime in the processes of sorption-flocculation water purification from organic contaminants // Colloids & Surfaces A:175. 2000.- P. 371-381.

16. Rulyov N.N. Application of ultra-flocculation and turbulent micro-flotation to the removal of fine contaminants from water // Colloids & Surfaces A: 151. 1999. - P. 283-291.

17. Rulyov N.N., Korolyov B.Y., Kovalchuk N.M. Application of the ultra-flocculation for improvements of fine coal concentrat dewatering, Coal Preparation. V.26. 2006. -P. 17–32.

18. Rulyov N.N., Dontsova T.A., and Korolyov V. Ja. Ultra-Flocculation of Diluted Fine Disperse Suspensions // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2007. №26 (3-4). – P.203-217.

19. Рулев Н.Н., Небеснова Т.В. Интенсификация процесса выделения тонкодисперсного угля из хвостов флотационного обогащения ультрафлокуляцией // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2019. – № 76. – С. 126 – 135.

20. Yessengaziyev, A., Tussupbayev, N. & Bilyalova, S. Intensification of dehydration processes of lead-zinc concentrates by ultraflocculation // Mineralia Slovaca. – 2019. – № 1. – P.102-108.

21. Еремеев Д.Н. Осветление шламовых вод и сгущение отходов флотации угольных шламов с применением полимерных флокулянтов // Вода: химия и экология. 2012. №2. – С. 63-66.

22. Лавриненко А.А., Глухова Н.И., Лапин Е.В. Применение флокулянтов для интенсификации флотации тонких частиц пирротина // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. №9. С.167-170.

23. Капралов В.И., Телков Ш.А., Алмагамбетова С.Т. Использование алюмосиликатного флокулянта в процессах обесшламливания тонковкрапленных свинцово-цинковых руд Казахстана // Вестник КазНУ. 2011. №4. С133-136.

24. Байченко А.А., Иванов Г.В. Флокулярная флотация тонких угольных шламов // Материалы научно-технической конференции. -1999. Кемерово. - С.9-29.

25. Берлинтейгер Е.С. Использование флокулянтов для обезвоживания угольных шламов. Химическая промышленность. - 2004. - Т.81. - №11. -С.65-68.

26. Rulyov N.N. Ultra-flocculation: Theory, Experiment, Applications // In book "Particle Size Enlargement in Mineral Processing". – Montreal (Canada). - 2004. - P. 197-214.

27. Rulyov. N. N., MaesA., KorolyovV. J. Optimization of hydrodynamic treatment regime in the processes of sorption-flocculation water purification from organic contaminants // Colloids & Surfaces A.-2000.-V. 175.- P.371-381.
28. Rulyov N.N., Korolyov B.Y., Kovalchuk N.M. Application of the ultraflocculation for improvements of fine coal concentrat dewatering, Coal Preparation. - 2006.- Vol.26.- P.17–32.
29. Rulyov N.N., Dontsova T. A., Korolyov V. Ja. Uultra-flocculation of diluted fine disperse suspensions, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. - July-September 2005.- Vol. 26.-№ 3-4.- P. 203 – 217.
30. Rulyov N.N., Dontsova T. A., Nebesnova T.V. The pair binding energy of particles and size flocs, which are formed in the turbulent flow. Khimiya i Tekhnologiya Vody. - 2005.- Vol. 27.- №1.- P. 1-17.
31. Тусупбаев Н.К., Рулев Н.Н., Есенгазиев А.М., Билялова С.М. Исследование процесса сгущения модельных систем методом ультрафлокуляции. Известия Вузов Кыргызстана. - 2019.- № 7.- С.39-46.
32. Yessengaziyev A.M., Tussupbayev N.K., Bilyalova S.M. Intensification of dehydration processes of lead-zinc concentrates by ultraflocculation. / Journal of Mineralia Slovaca.- 2019.- P.102-108

Список опубликованных работ

1. Абжамиева Н.Б., Очистка сточных вод углеобогатительных фабрик методом ультрафлокуляции III Международной научно-технической конференции «Минские научные чтения- 2020» I том, с. 160
2. Абжамиева Н.Б., Рыспаева М.Б. Интенсификация процессов очистки сточной воды от угольного шлама методом ультрафлокуляции // Труды Сатпаевских чтений «Сатпаевские чтения – 2021», I том, с. 867

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ на магистерскую диссертацию

Әбжамиева Нұрила Болатбекқызы

по специальности 7М07223 - Обогащение полезных ископаемых

На тему: «Интенсификация процесса очистки оборотной воды углеобогащительных фабрик методом ультрафлуккулации».

В последние годы в технологии сепарации техногенных суспензий все более широкое распространение получает ультрафлуккуларная обработка. Эффективность использования флуккулантов в процессах седиментационной и фильтрационной сепарации фаз суспензии в значительной мере зависит от режима гидродинамической обработки суспензии (градиента скорости среды) после введения в нее раствора флуккуланта.

Научная новизна работы заключается в разработке оптимального режима гидродинамической обработки сточных вод от угольного шлама с использованием лабораторного турбофлуккулатора.

Для выполнения лабораторного тестирования использовались образцы суспензии угольного шлама дисперсным составом частиц 22 мкм - 86,1%, 1000 мкм - 11,6% и << 1 мкм - 2,4% и концентрацией твердого – 30 г/л. В работе использовались флуккуланты серии «Superfloc» финского производителя Kemira, представляющие собой сополимеры полиакриламида высокой молекулярной массы с различной степенью ионности.

При оптимальной дозе флуккулантов равной 10 г/т скорость осаждения шлама в присутствии анионного флуккуланта А-150-7 превышает в 2 раза, анионного флуккуланта марки А-150-15, и 3 раза катионного флуккуланта С-496-80 и фабричного флуккуланта MF-156.

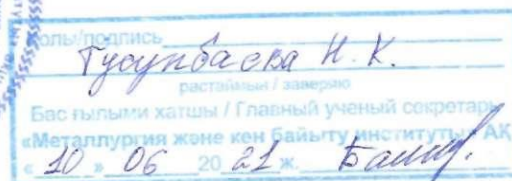
При оптимальной скорости гидродинамической обработки равной 1000 с^{-1} скорость осаждения шлама в присутствии флуккуланта А-150-7 при времени обработки 10 сек скорость осаждения увеличивается при оптимальном расходе флуккуланта 5 г/т в 5 раз, а расход флуккуланта уменьшается в 2 раза по сравнению без обработки на Ультрафлуктестера.

Установлено, что анионный флуккулант А-150-7 в 2 раза меньше содержит твердого в сливе, чем флуккулант А-150-15 и 3 раза меньше, чем флуккуланты 496-80 и MF-156. Лучшие результаты получаются при использовании Ультрафлуктестера: при скорости сдвига 1000 с^{-1} существенно снижается содержание твердого в сливе почти в 6 раз, а расход анионного флуккуланта А-150-7 в 2 раза меньше. Время обработки - 10 сек. Наилучшие результаты степени осветления водной фазы от угольных шламов, дает технология, при которой последовательно обрабатывают в ультрафлуккулаторе с применением анионного флуккуланта А-150-7.

Магистерская работа по объему и качеству проведенных исследований соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским диссертационным работам, а автор Әбжамиева Н.Б. заслуживает степени магистра по специальности 7М07223 – обогащение полезных ископаемых. Оценка научного руководителя 88 %.

Научный руководитель
Доктор технических наук
ассоц. профессор, член-корр. КазНАЕН

Тусупбаев Несипбай Куандыкович



РЕЦЕНЗИЯ
на магистерскую диссертациюӘбжаніева Нұріла Бәлатбекқызы

по специальности 7М07223 - Обогащение полезных ископаемых

На тему: «Интенсификация процесса очистки оборотной воды углеобогатительных фабрик методом ультрафлокуляции»

Выполнено:

- а) графическая часть на 16 листах
 б) пояснительная записка на 14 страницах

В последние годы в технологии сепарации техногенных суспензий все более широкое распространение получает ультрафлокулярная обработка. Эффективность использования флокулянтов в процессах седиментационной и фильтрационной сепарации фаз суспензии в значительной мере зависит от режима гидродинамической обработки суспензии (градиента скорости среды G) после введения в нее раствора флокулянта. В магистерской диссертации поставлена задача интенсификации очистки оборотной воды от угольного шлама с использованием суперфлокулянтов методом ультрафлокуляции.

Новизной исследования является разработка оптимального режима гидродинамической обработки сточных вод для интенсивной ее очистки от угольного шлама с использованием лабораторного турбофлокулятора.

В работе использовались флокулянты серии «Superfloc» финского производителя Kemira, в качестве суспензии угольный шлам и лабораторный Ультрафлоктестер фирмы «Турбофлотсервис» (Украина).

При оптимальной дозе флокулянтов равной 10 г/т скорость осаждения шлама в присутствии анионного флокулянта А-150-7 превышает в 2 раза, анионного флокулянта марки А-150-15, и 3 раза катионного флокулянта С-496-80 и фабричного флокулянта MF-156.

Установлено, что анионный флокулянт А-150-7 в 2 раза меньше содержит твердого в сливе, чем флокулянт А-150-15 и 3 раза меньше, чем флокулянты 496-80 и MF-156 (таблица 3). Лучшие результаты получаются при использовании Ультрафлоктестера: при скорости сдвига 1000 с^{-1} существенно снижается содержание твердого в сливе почти в 6 раз, а расход анионного флокулянта А-150-7 в 2 раза меньше. Время обработки - 10 сек.

Наилучшие результаты степени осветления водной фазы от угольных шламов, дает технология, при которой последовательно обрабатывают в ультрафлокуляторе с применением анионного флокулянта А-150-7.

По результатам выполненных работ опубликованы доклады на Сатпаевском чтении и Минской конференции (Белоруссия) в 2021 году.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В работе в литературном обзоре подробно описано методы сгущения и очистки сточных и оборотных вод для различных дисперсных систем. Также приведены характеристики различных типов флокуляторов. Однако автором работы не приводится принцип действия Ультрафлоктестера на интенсификацию флокуляции суспензии угольного шлама. Имеются некоторые ошибки редакционного характера.

Оценка работы

Магистерская работа Әбжаніевой Н.Б. по объему и качеству выполненных экспериментальных работ соответствует требованию к магистерским диссертациям. Автор работы Әбжаніева Н.Б. заслуживает присуждения степени магистра по специальности 7М07223 – обогащение полезных ископаемых. Оценка 86%.

Рецензент

Туктин Б.Т.

Занимаемая должность: Зав. лаб. «Моторных топлив» АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В.Соколовского», доктор химических наук.

« 8 » 06 2021г.

Ф КазННТУ 706-17. Рецензия



Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Эбжамиева Нурила Болатбекқызы

Название: Интенсификация процессов очистки сточной воды от угольного шлама методом ультрафлуккулации

Координатор: Несипбай Тусупбаев

Коэффициент подобия 1:0.6

Коэффициент подобия 2:0

Замена букв:10

Интервалы:0

Микропробелы:0

Белые знаки: 0

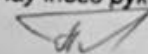
После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование: Обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите.

Дата

Подпись Научного руководителя



1 из 1

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Эбжамиева Нурила Болатбекқызы

Название: Интенсификация процессов очистки сточной воды от угольного шлама методом ультрафлуккулации

Координатор: Несипбай Тусупбаев

Коэффициент подобия 1:0.6

Коэффициент подобия 2:0

Замена букв:10

Интервалы:0

Микропробелы:0

Белые знаки:0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- ☒ обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- ☐ обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

Работа является добросовестной и не обладает признаками плагиата

Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Магистерская диссертация Эбожмиевой Н.Б. явл-ся
самостоятельной работой, обнародованные результаты
не образуют критических замечаний.
Допуск к защите.

Дата 14-06-2021

д.в.н.ф. Милош Бермехинский
Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения