МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

SATBAYEV UNIVERSITY

Института металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургия и обогащения полезных ископаемых

УДК 622.7.017 На правах рукописи

Ертаев Максат Ардакулы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации «Исследование сгущения и фильтрации методом обогащения методом ультра – флокуляции»

Направление подготовки 6М073700 – "Обогащение полезных ископаемых"

Научный руководитель:
д-р.техн.наук
_____ Н.К.Тусупбаев
" _____" 2020 г.

Рецензент
_____
"_____" _____2020 г.

Нормоконтролер,
Доктор PhD, ассистент-профессор
_____И.Ю. Мотовилов
"_____" _____2020 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой МиОПИ,
канд. техн. наук, доцент
_____М.Б.Барменшинова
"6_" июля 2020 г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

SATBAYEV UNIVERSITY

Института металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургия и обогащения полезных ископаемых

6М073700 - "Обогащение полезных ископаемых"

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой М и ОПИ
канд. техн. наук, доцент
М.Б.Барменшинова
"_____" _____2020 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение магистерской диссертации

Магистранту *Ертаев Максат Ардакулы*

Тема: Изучение закономерности сгущения модельных и техногенных суспензий в присутствии флокулянтов методом ультрафлокуляции.

Утверждена приказом ректора университета *№1202-М от «29» 10.* 2018г

Срок сдачи законченной диссертации *" " 2020 г.*

Исходные данные к магистерской диссертации: Исследование закономерности сгущения модельной и техногенной суспензии в присутствии серию флокулянтов различной фирмы методом ультрафлокуляции на приборе "УльтрафлокТестер". При этом, будет выбран оптимальный режим гидродинамической обработки находится в диапазоне 900-4000 $с^{-1}$ и будет установлен время полного осветления суспензии.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- освоение метода ультрафлокуляции для интенсификации процесса сгущения продуктов обогащения;

- исследование седиментационной и фильтрационной характеристики модельной суспензии кварца в зависимости от размера частиц;

- исследование седиментационной и фильтрационной характеристики техногенных суспензий в зависимости от интенсивности 1000 - 4000 $с^{-1}$;

-исследование влияние концентрации флокулянтов на сгущение минеральных суспензий методом ультрафлокуляции.

Решение этих задач дает возможность выбрать эффективного флокулянта и улучшить седиментационные ифильтрационные характеристики суспензии; работать с относительно концентрированными растворами флокулянта; существенно увеличить пропускную способность сгустителей; снизить остаточное содержание твердого в сливе сгустителя до низкого уровня.

Демонстрационный графический материал представить не менее чем на 4 слайдах с результатами исследований.

Рекомендуемая основная литература:

1 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.

2 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.

3 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.

4 Rulyov N.N., Dontsova T. A., Korolyov V. Ja. Ultra-flocculation of diluted fine disperse suspensions, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, Volume 26, Number 3-4 / July-September 2005.-P. 203 – 217.

5 Баран А.А. Полимерсодержащие дисперсные системы. Киев, Наукова думка, 1986. 244 с.

6 ГлембоцкийВ.А., КлассенВ.И. Флотация. Справочник по обогащению руд.- М.«Недра».-1974.

7 Справочник по обогащению руд. Специальные и вспомогательные процессы/ Под редакциеǐ О.С.Богданова и В.И.Ревнивцева. М. Недра, 1986, с. 131.

8 Тусупбаев Н.К. Устойчивость полимерсодержащих дисперсных систем. Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. хим., 2008.- Вып.4.- С.95-103.

ГРАФИК

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Аналитический обзор	07.03.2020	
Основные методы анализа и исследований	07.04.2020	
Экспериментальная часть	07.05.2020	

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		
Основные методы анализа и исследований			
Экспериментальная часть			
Нормоконтролер	И.Ю. Мотовилов доктор PhD		

Научный руководитель _____ Н.К.Тусупбаев

Задание принял к исполнению обучающийся_____М.А.Ертаев

Дата "_____"_____ 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	9
1	Исследование сгущения и фильтрации методом обогащения-методом ультрафлокуляции	11
1.1	Теоретические основы ультрафлокулярной технологии сепарации фильтрации и сгущения	12
1.2	Новые методы и приборы для определения оптимальных режимов сгущения и фильтрации флокулярного обогащения цветных металлов	15
2	Экспериментальная часть	18
2.1	Объекты исследования	18
3	Обсуждение результатов	26
3.1	Удельный объем осадка	27
3.2	Новые приборы	29
3.2.1	Лабораторные испытания эффективности ультрафлокулярной технологии фильтрации после обогащения медной руды	32
3.2.2	Процесс сгущения продуктов обогащения ультра – флокулянтами в ламинарном режиме	41
3.2.3	Гидродинамическая обработка водной суспензии кварца в процессе ее ультра – флокуляции дисперсного состава и концентрации	47
3.2.4	Флокуляция в процессах водоочистки	56
3.3	Флокулярная флотация в процессах водоочистки	58
3.4	Турболентная микрофлотация	62
3.5	Статические флокуляторы	65
	Заключение	70
	Список использованной литературы	72
	Приложение А	75
	Приложение Б	76

АННОТАЦИЯ

В работе изложены результаты исследований по сгущению и обезвоживанию суспензий из отвальных хвостов флотационного обогащения Жезказганской обогатительной фабрики с использованием прибора “Ультрафлок-Тестер” в присутствии различных флокулянтов серии Superfloc фирмы “Kemira”. Показано, что среди испытываемых флокулянтов, имеющих в составе различные полярные группы, большую эффективность по отношению к исследуемым суспензиям проявил флокулянт анионного типа марки А-150. Установлено, что относительно плотные суспензии (100 г/л) следует обрабатывать при градиенте скорости G=500-1000 $с^{-1}$ в течение 12 с, в то же время суспензии с относительно средней плотностью 50 г/л – при G = 1000-1500 $с^{-1}$ в течение 6 с. Произведена оценка влияния интенсивности гидродинамической обработки на остаточную концентрацию взвеси в переливе. Минимальная остаточная концентрация взвеси (20…30 мг/л) в переливе достигнута при G = 500-1500 $с^{-1}$. Рассмотрено влияние интенсивности гидродинамической обработки на влажность сфлокулированного осадка до и после фильтрования под давлением.

На горно-обогатительных фабриках получаемые продукты обогащения содержат большое количество воды и поэтому не пригодны для транспортировки и дальнейшей металлургической переработки. Удаление влаги из продуктов обогащения осуществляется с применением ряда операций, называемых в общем обезвоживанием.

Распространены в основном механические и термические методы обезвоживания [1]. К механическим методам обезвоживания относятся: дренирование, центробежное обезвоживание, сгущение и фильтрование, к термическим – сушка. Результатом процесса обезвоживания является: 1) доведение товарных продуктов до кондиционной влажности (6 - 9%) в соответствии с требованиями потребителей и условиями транспортировки; 2) осветление оборотной воды за счет снижения содержания в ней твёрдой фазы до необходимого уровня, что позволит использовать воду в технологическом процессе многократно.

В связи с необходимостью повышения технологических показателей работы обогатительных фабрик, на фоне усложнения состава и качества перерабатываемых руд возрастает значение подготовительных операций, сопровождающих основные процессы обогащения.

Сгущение приводит к повышению концентрации твердой фазы в осаждаемом продукте по сравнению с исходной пульпой и получении слива с минимальной концентрацией твердых частиц, что достигается подбором оптимальных расходов коагулянтов и флокулянтов. Качество сгущения зависит от минерального и гранулометрического состава твердой фазы, формы и размера частиц, содержания твердой фазы в исходной суспензии [2]

АҢДАТПА

Мақалада "Kemira "фирмасының Superfloc сериялы әртүрлі флокулянттардың қатысуымен" Ультралок-Тестер " аспабын пайдалана отырып, Жезқазған байыту фабрикасының флотациялық байытудың үйінді қалдықтарынан суспензияларды қоюлату және сусыздандыру бойынша зерттеулердің нәтижелері баяндалған. Құрамында әртүрлі полярлық топтар бар сыналатын флокулянттардың арасында зерттелетін суспензияларға қатысты үлкен тиімділікті А-150 маркалы анионды типті флокулянт көрсетті. Салыстырмалы тығыз суспензияларды (100 г/л) G=500-1000 с-1 жылдамдық градиенті кезінде 12 С бойы өңдеу керек, сонымен қатар G = 1000-1500 с – 1 кезінде 50 г/л салыстырмалы орташа тығыздығы бар суспензияларды 6 С бойы өңдеу керек. Құйылудағы жүзіндінің ең аз қалдық концентрациясына (20...30 мг/л) G = 500-1500 С-1 кезінде қол жеткізілді. Гидродинамикалық өңдеу қарқындылығының қысыммен сүзуге дейін және одан кейін сфлокулирленген шөгіндінің ылғалдылығына әсері қарастырылды.

Тау-кен байыту фабрикаларында алынатын байыту өнімдері көп мөлшерде суды қамтиды, сондықтан тасымалдау және одан әрі металлургиялық қайта өңдеу үшін жарамсыз. Байыту өнімдерінен ылғалды жою жалпы сусыздандыру деп аталатын бірқатар операцияларды қолдану арқылы жүзеге асырылады.

Негізінен механикалық және термиялық сусыздандыру әдістері көбінен таралған [1]. Сусыздандырудың механикалық әдістеріне мыналар жатады: дренаждау, ортадан тепкіш сусыздандыру, қоюландыру және сүзу, термиялық әдістерге – кептіру. Сусыздандыру процесінің нәтижесі болып табылады: 1) тұтынушылардың талаптарына және тасымалдау шарттарына сәйкес тауарлық өнімдерді кондициялық ылғалдылыққа (6-9%) дейін жеткізу; 2) айналымдағы суды онда қатты фазаның құрамын қажетті деңгейге дейін төмендету есебінен жарықтандыру, бұл суды технологиялық процесте бірнеше рет пайдалануға мүмкіндік береді.

Байыту фабрикалары жұмысының технологиялық көрсеткіштерін арттыру қажеттілігіне байланысты қайта өңделетін кендердің құрамы мен сапасының күрделенуі аясында байытудың негізгі процестерін сүйемелдейтін дайындық операцияларының маңызы артады.

Қоюландыру бастапқы қойыртпақпен салыстырғанда шөгілетін өнімде қатты фазаның концентрациясының жоғарылауына және қатты бөлшектердің ең аз шоғырлануымен ағызуды алуға әкеледі, бұған коагулянттар мен флокулянттардың оңтайлы шығыстарын іріктеумен қол жеткізіледі. Қоюландыру сапасы қатты фазаның минералды және гранулометриялық құрамына, бөлшектердің нысаны мен мөлшеріне, бастапқы суспензиядағы қатты фазаның құрамына байланысты [2].

Флокулянттардың бастапқы ерітіндіден суспензияға ауысуы, олардың дисперсиялық ортада біркелкі таралуы және өлшенген бөлшектердің бетінде адсорбциясы көп уақытты талап етеді.

ABSTRACT

The article presents the results of research stewed dehydration of suspensions from dump flotation tailings Zhezkazgan enrichment plant using the device "Ultraflok-Tester" in the presence of various flocculants of the Superfloc series company "Kemira". It is shown that among the tested flocculants. Containing various polar groups, greater efficiency in showed anionic flocculant with respect to the studied suspensions Grades A-150. Relatively dense suspensions (100 g / l) were found. Should be processed with a speed gradient of G500-1000 c for 12 s, at the same time, suspensions with a relatively average density of 50 g / l - with Gя 1000-1500 s during a be.

Intensity Impact Assessed hydrodynamic treatment for the residual concentration of suspension in overflow, Minimum residual concentration of suspension (20 ... 30 mg / l) in overflow achieved at G 500-1500s. Hydrodynamic Processing Intensity Ha Humidity flocculated precipitate before and after filtration under pressure. In mining plants, the resulting enrichment products contain a large amount by dose suitable for transportation and further metallurgical processing. Delete Vagi products are enriched using a number of operations called generally dehydration, come on!

Most common mechanical and thermal methods dehydration (1) the

mechanical methods of dehydration include: drainage, centrifugal dehydration, drying and filtering, to thermal - drying. The result of the dehydration process is: 1) bringing marketable products to conditioned humidity (6 - 99%) in compliance with customer requirements and transportation conditions; 2) clarification of recycled water by reducing the solids content in it to the required level, which will allow the use of water in the technological process many times.

Due to the need to improve technological indicators the work of enrichment plants, against the background of complexity of composition and quality processed ores the importance of preparatory operations. accompanying the main enrichment processes. Quenching leads to an increase in the concentration of solid phase in precipitated product compared to the original pulp and receiving discharge with the minimum concentration of chipped parts, which is achieved by selection optimal costs of coagulants and flocculants.

Dried quality depends on the mineral and particle size distribution of the solid phase. Shape and size of particles, solids content in the initial suspension [2]. The transition of flocculants in the initial solution into suspension, their uniform surface dispersion in a dispersion medium suspended particles requires a fairly long time. Involving pre-treated process water in the process processing plant without dumping them into the tailings has a large importance for improving the technological.

ВВЕДЕНИЕ

Цель магистерской диссертации является повышение флокулирующей активности водорастворимых полимеров и улучшение седиментационных характеристик промышленных суспензий с использованием метода ультрафлокуляции.

Актуальность. 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 «ультра-флокуляция» [1], 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 сильнонеоднородных гидродинамических полей позволяет в считанные секунды не только достичь равномерного распределения молекул флокулянта в объёме суспензии и на поверхности флокулируемых частиц, но и сформировать относительно большие и компактные флокулы [2]. 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 [3,4].

В процессах обогащения руд цветных и редких металлов образуется большое количество концентрированных техногенных суспензий, подлежащих сепарации путем сгущения в радиальных сгустителях. С целью ускорения процесса седиментации частиц дисперсной фазы, в суспензию перед подачей в сгуститель добавляют раствор флокулянта, предназначенный связывать отдельные частицы в относительно крупные быстро оседающие флокулы. Так как молекулы флокулянта, в большинстве случаев, представляют собой довольно крупные полимерные образования с молекулярной массой порядка 10-20 миллионов Дальтон, их переход из исходного (стокового) раствора в суспензию, равномерное распределение в дисперсионной среде и адсорбция на поверхности взвешенных частиц требует достаточно большого времени. Как показано в [1-5], это время можно сократить до 5-6 секунд путем использования соответствующей гидродинамической обработки суспензии при некотором оптимальном значении градиента скорости среды G. В результате такой обработки, получившей название «ультрафлокуляция» [5], происходит не только быстрое и равномерное распределение молекул флокулянта в суспензии и их адсорбция на поверхности частиц, но и формирование крупных и плотных флокул. В зависимости от дисперсного состава и удельной массы частиц, а также их объемной концентрации, оптимальные значения осредненного градиента скорости среды G_{opt} могут меняться в широком диапазоне: от 300

до 5000 $с^{-1}$. Важным преимуществом ультрафлокулярной обработки является то, что она обеспечивает консолидацию крупных и мелких частиц непосредственно в процессе формирования флокул, т.е. еще до попадания их в сгуститель, что, собственно, и обеспечивает их быструю седиментацию и высокую степень осветления водной фазы.

Обычно процесс сгущения продуктов обогащения флокулянтами происходит в ламинарном режиме, при этом для улучшения флокулирующей активности нужно подбирать флокулянты с большой молекулярной массой и сильнозаряженными макромолекулами. Принцип ультрафлокуляции позволяет уменьшить время флокуляции примерно в 100 раз и повысить ее эффективность. Этот результат достигается за счет кратковременной обработки суспензии в сильнонеоднородном гидродинамическом поле, формируемом в цилиндрическом флокуляторе.

В связи с этим в данной работе проведены исследования по улучшению седиментационной и фильтрационной характеристики модельных и промышленных суспензий с использованием метода ультрафлокуляции.

Новизна исследований. Обоснование выбора метода ультрафлокуляции для улучшения сгущения и фильтрации техногенных суспензий и продуктов обогащения за счет кратковременной обработки суспензии в сильнонеоднородном гидродинамическом поле, формируемом в цилиндрическом флокуляторе является новым подходом к решению проблемы повышения качества флотоконцентратов.

*Научная значимость***.** Предлагается новый метод ультрафлокуляции для интенсификации процесса сгущения и фильтрации продуктов обогащения и техногенных суспензий путем регулирования скорости гидродинамической обработки.

*Практическая значимость***.** Реализация метода ультрафлокуляции для интенсификации процесса сгущения и фильтрации продуктов обогащения и техногенных суспензий существенно снизит расходы флокулянтов и повысит производительность сгустителей и пресс-фильтра.

Сначала рассмотрим основные закономерности и теории флокуляции водорастворимыми полимерами.

1 Исследование сгущения и фильтрация методом обогащение ультра –флокуляция

Одним из наиболее эффективных методов интенсификации процесса фильтрация и сгущения 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 флокулянтом 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 коагулянтом.

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 объёме 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 кека и закрывать их, увеличивая тем самым гидравлическое сопротивление кека 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, может быть достигнуто путём применения специальной гидродинамической обработки суспензии в процессе введения флокулянта и сразу после него. Такая обработка, получившая название «ультра-флокуляция», 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.

1.1 Теоретические основы ультрафлокулярной технологии сепарации фильтрация и сгущения обогащения цветных металлов

Исходя из общеизвестных положений физико-химической гидродинамики, становится очевидным, что наиболее простой способ ускорения процесса смешивания флокулянта с суспензией, равномерного его распределения по всему объёму и доставки к поверхности частиц состоит в интенсивном перемешивании смеси. Обусловлено это тем, что скорость конвективной диффузии на несколько порядков величины больше, чем тепловой. Поскольку с увеличением интенсивности перемешивания увеличивается и осредненный градиент скорости среды G, то, согласно теории ортокинетической коагуляции Смолуховского, следует, что при этом будет ускоряться и процесс агрегирования частиц суспензии.

Вместе с тем, хорошо известно, что при увеличении градиента скорости среды G уменьшается максимальный размер флокул, т. к. более крупные флокулы дробятся под действием вязких напряжений, действующих со стороны дисперсионной среды. Отсюда следует, что в начальные моменты процесса флокуляции можно использовать достаточно интенсивную (большие значения G) гидродинамическую обработку. По мере же роста флокул, интенсивность обработки необходимо снижать практически до нуля с целью получения крупных быстро седиментирующих флокул. В работе было показано, что оптимальный режим гидродинамической обработки $G(t)$ и соответствующая ему кинетика роста среднего размера флокул $d_F(t)$ описываются уравнениями:

$$G_i(t) = G_m S^{2/3}\left(1+\frac{t}{t_{ci}}\right)^{\frac{2D-9}{D}}, \qquad (1)$$

$$d_F = d_p\left(1+\frac{t}{t_{ci}}\right)^{\frac{3}{D}}, \qquad (2)$$

где d_p - размер флокулируемых частиц;

t - время обработки;

D и S - параметры, отражающие фракталоподобную структуру флокул (размерность фрактала и структурный коэффициент);

t_{ci} - характеристическое время идеального процесса, определяемого формулой.

$$t_{ci} = \frac{9\pi S^{1/3}}{8DG_m\alpha\varphi}, \qquad (3)$$

где φ - объемная концентрация суспензии;

α - вероятность агрегирования флокул (частиц) в процессе столкновения в неоднородном гидродинамическом поле;

G_m - величина входящая в уравнения (1) - (3), представляет собой параметр, характеризующий максимальную допустимую интенсивность гидродинамической обработки суспензии в начальный момент обработки, когда взаимодействуют между собой отдельные частицы и выражается формулой

$$G_m = \frac{3U}{\pi^2\eta d_p^3}. \qquad (4)$$

где U - парная энергия связи частиц во флокуле;

η - динамическая вязкость суспензии.

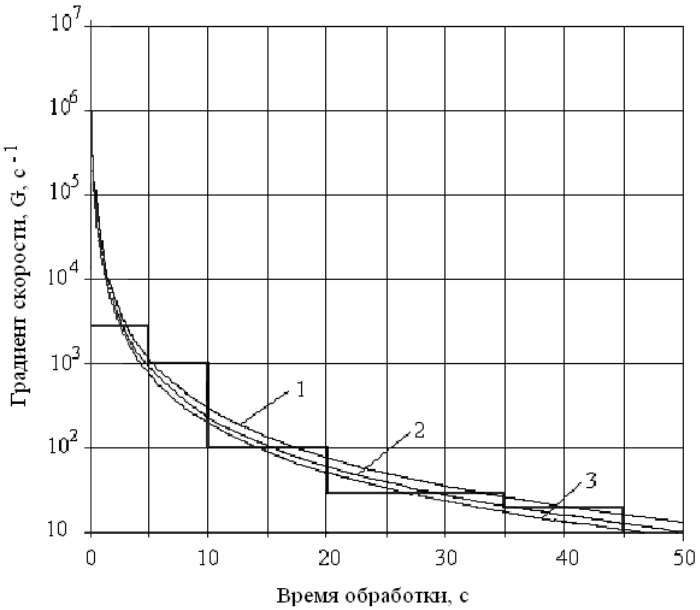
Из соотношения (4) следует, что допустимая интенсивность начальной (наиболее жесткой) гидродинамической обработки G_m зависит от энергии связи U и размера частиц d_p. В качестве примера в табл. 1 представлены значения d_p, U и G_m для некоторых суспензий, измеренные в.

Таблица 1- Максимальный градиент скорости G_m, рассчитанный на основе формулы (3) для различных водных суспензий в работе

Водная суспензия	Флокулянт (мг/л)	$\overline{d_p}$ мкм	U 10^{-14} Дж	G_m 10^6 с$^{-1}$
Гидроксид алюминия	Магнафлок-101 1 (2.8)	0.4	1.9	90
Ферроцианид никеля	Магнафлок -Е10 (3.25)	0.35	0.50	35
Na-монтмориллонит	Магнафлок -368 (2.5)	0.2	0.14	53

Из таблицы 1 видно, что допустимое значение величины G_m может достигать десятков миллионов обратных секунд. Следовательно, на начальной стадии флокуляции, когда необходимо обеспечить быстрое и равномерное растворение молекул флокулянта и доставку их к поверхности частиц, можно кратковременно использовать сильно-неоднородные гидродинамические поля без ущерба для процесса флокуляции. В качестве

примера на рис. 1 представлены рассчитанные по формулу (1) зависимости $G(t)$ для идеального режима гидродинамической обработки суспензий, свойства которых представлены в таблице 1. К сожалению, на практике очень трудно обеспечить идеальный режим гидродинамической обработки. Кроме того, использование полей с интенсивностью G порядка 10^7 $с^{-1}$ связано со значительными техническими трудностями и колоссальными энергетическими затратами.



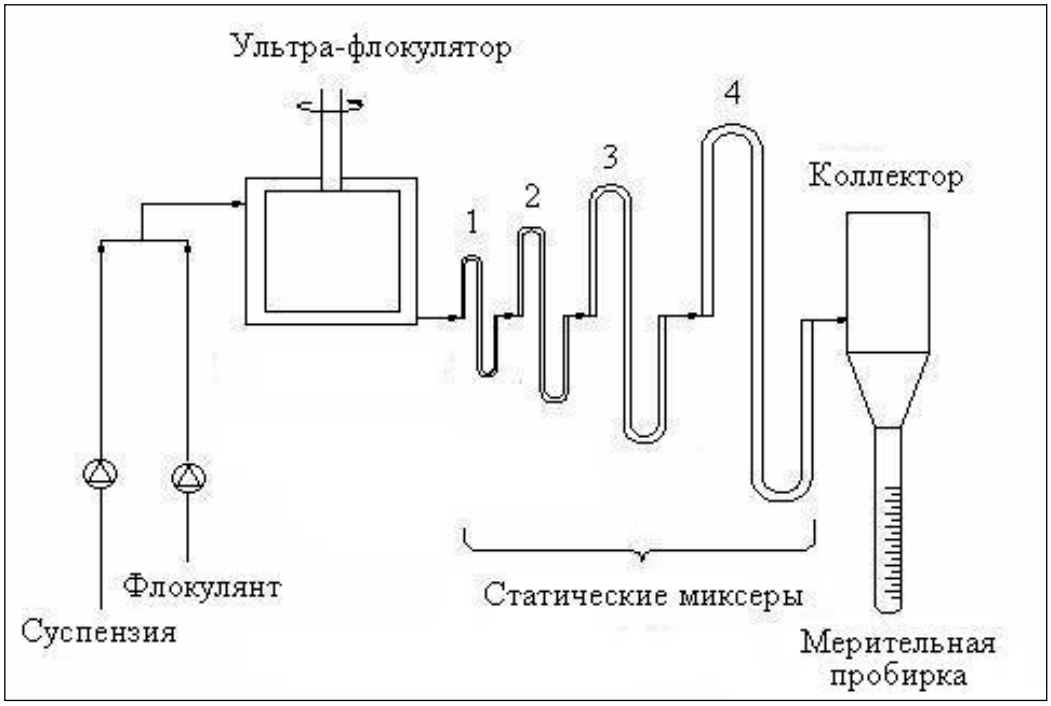
(ступенчатая линия) режимов УФ-гидродинамической обработки $G(t)$, рассчитанные по формуле (1) для разбавленных ультра-дисперсных суспензий, представленных в Таблице 1: 1- ферроцианид никеля; 2- Na-монтмориллонит; 3- гидроксид алюминия. Параметры расчета: $\varphi = 10^{-4}$, α =0.1, S =0.74, D = 2.3.

Рисунок 1 - Диаграммы идеальных (пунктирные линии) и реального

В этой связи, без особого ущерба для скорости и качества процесса, был предложен постадийный режим гидродинамической обработки суспензии, показанный на Рис.1 ступенчатой линией. Таким образом, интенсивная кратковременная гидродинамическая обработка осуществляется только на первой самой ранней стадии. На последующих же стадиях интенсивность обработки значительно ниже. Технически такой режим обработки легко обеспечить путем последовательного соединения динамического (первая стадия) и статических (последующих стадий) миксеров, обеспечивающих первичную (жёсткую) и вторичную (мягкую) обработку. Как будет показано ниже на конкретных примерах, оба типа обработки играют существенную роль для улучшения процесса флокуляции разбавленных суспензий.

1.2 Новые методы и приборы для определения оптимальных режимов флокулярно-седиментационной сгущения и фильтрация обогащения цветных металлов

Для изучения влияния режима гидродинамической обработки на процесс флокулярно-седиментационной сгущения и фильтрация ообогащения в настоящее время получает распространение метод и установка, схематически показанная на рис. 2. В процессе эксперимента обрабатываемая суспензия, а также раствор флокулянта, подавались непосредственно в проточный ультрафлокулятор, где в течение t_0 = 5 секунд осуществлялась первичная жёсткая обработка (собственно «ультра-флокуляция»).



1-4 – трубчатые статические миксеры.

Рисунок 2 - Установка для изучения ультра-флокуляции разбавленных тонкодисперсных суспензий.

В качестве ультрафлокулятора использовался цилиндрический флокулятор Куэтта (пара коаксиальных цилиндров), диаметр и высота ротора которого составлял 3 см, а ширина зазора – 2 мм. Путём изменения скорости вращения ротора величину осредненного градиента скорости среды в ультрафлокуляторе G_0 можно было менять в диапазоне от 0 до 24,000 $с^{-1}$. Зависимость величины G_0 от скорости вращения ротора оценивали по соотношению Колмогорова:

$$G = \sqrt{\varepsilon / \nu} \ , \qquad (5)$$

где ν – кинематическая вязкость среды;

ε – диссипация кинетической энергии. Значение величины ε вычисляли на основании данных о разности температур суспензии на входе и выходе ультрафлокулятора ΔT по формуле.

$$\varepsilon = \frac{c_p q}{w} \Delta T \,. \tag{6}$$

где c_p - теплоемкость среды;

q - суммарный объемный расход суспензии и раствора флокулянта;

w - объем полости флокулятора. С выхода ультрафлокулятора, суспензия поступала в последовательность статических миксеров 1 – 4, представлявших собой ПХВ – трубки. Диаметр и длина трубок подбирались таким образом, чтобы средние значения градиентов скорости жидкости в них G_i и соответствующие времена обработки t_i наилучшим образом соответствовали идеальному режиму .

Таблица 2 - Параметры трубчатых статических миксеров

Статический миксер, №	Диаметр, мм	Длина, см	Время обработки, t_i, с	Градиент скорости, G_i, $с^{-1}$
1	2.0	35	1.15	968
2	3.0	40	2.8	96.5
3	4.0	45	5.5	32
4	5.0	45	8.6	18.5

Параметры статических миксеров, а также соответствующие значения G_i и t_i представлены в таблице 2. Соответствующие значения G_i также оценивались по формуле (4), а величины ε_i по гидравлическому сопротивлению трубок и расходу суспензии q, которая во всех экспериментах составляла 1 $см^3$/с. При этом, величины G_i вычислялась по формуле:

$$\varepsilon_i = \frac{g \Delta h_i q}{s_i} \,, \tag{7}$$

где g - ускорение сил тяжести, s_i - площадь сечения трубки, Δh - высота гидростатического столба, обеспечивающего расход жидкости q.

С выхода последнего статического миксера обработанная суспензия поступала в коллектор с коническим дном объёмом 220 мл. Коллектор был

снабжен мерительной трубкой, с помощью которой измерялся объем влажного осадка. После заполнения коллектора обработанной суспензией ей давали определенное время отстояться, после чего измеряли объём осадка и остаточную концентрацию или мутность осветленного раствора в зависимости от времени. После этого осадок отфильтровывали и высушивали для определения удельного объёма осадка V_{spec} по формуле:

$$V_{spec} = \frac{V}{m}. \tag{8}$$

где V – объём влажного осадка;

m – его сухая масса.

Пример исследования модельной суспензии. В качестве модельных ой была взята разбавленная суспензия (концентрация твердого 0.2 г/л) глины

(Na-монтмориллонита) в дистиллированной воде с небольшими добавками азотистокислого натрия ($NaNO_2$, 0.5 г/л). Соответствующие размеры и энергии связи частиц, а также используемые флокулянты представлены в таблице 2.

2 Экспериментальная часть

2.1 Объекты исследования

В данной работе проведены исследования по интенсификации процессов сгущения и обезвоживания хвостовой пульпы флотационного обогащения Жезказганской обогатительной фабрики (ЖОФ) с использованием ультрафлокуляционной обработки.

В работе использовались флокулянты серии «Superfloc» финского производителя Kemira, представляющие собой сополимеры полиакриламида высокой молекулярной массы с различной степенью ионности (табл.3). Приготовление раствора флокулянтов серии Superfloc проходило при температуре 60-70 ºС.

Таблица 3 - Характеристика реагентов флокулянтов серии «Superfloc»

Флокулянты	Степень заряженности, %	Вязкость, мПа/с	Молекулярная масса
Superfloc C-494 - катионный	15,2-25,6	3,0-3,4	$5{,}8 \cdot 10^6$
Superfloc C-496 - катионный	27,1-39,3	3,7-4,2	$6{,}4 \cdot 10^6$
Superfloc C-498 - катионный	3,4-4,0	4,0-4,6	$4{,}1 \cdot 10^6$
Superfloc A-150 - анионный	53-63	4,5-5,9	$15{,}2 \cdot 10^6$
Superfloc N-100 - неионный	1,8-3,0	4-5,2	$10{,}1 \cdot 10^6$

Изучение распределения частиц по размерам хвостов флотации Жезказганской обогатительной фабрики осуществлялось на приборе «Photocor-Compact» (рис. 3).

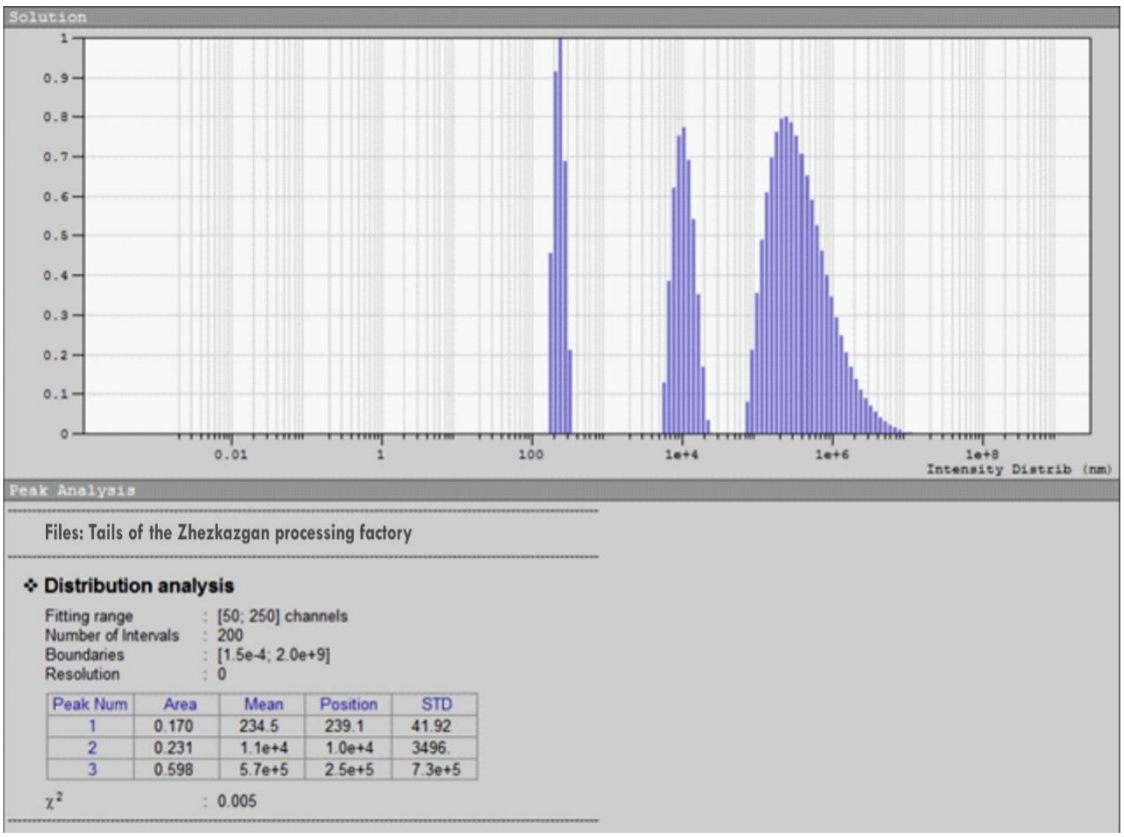


Рисунок 3 - Распределение частиц по размерам хвостов флотации Жезказганской обогатительной фабрики, определенное на приборе «Photocor-Compact»

Для исследования эффективности процесса ультрафлокуляции суспензий применялся прибор «УльтрафлокТестер-2010, разработанный украинской фирмой «Турбофлотсервис» (рис. 4), включающий минифлокулятор и оптоэлектронный механизм фиксирования эффективности флокуляции по среднему размеру флокул и степени осветления воды. Посредствам 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).

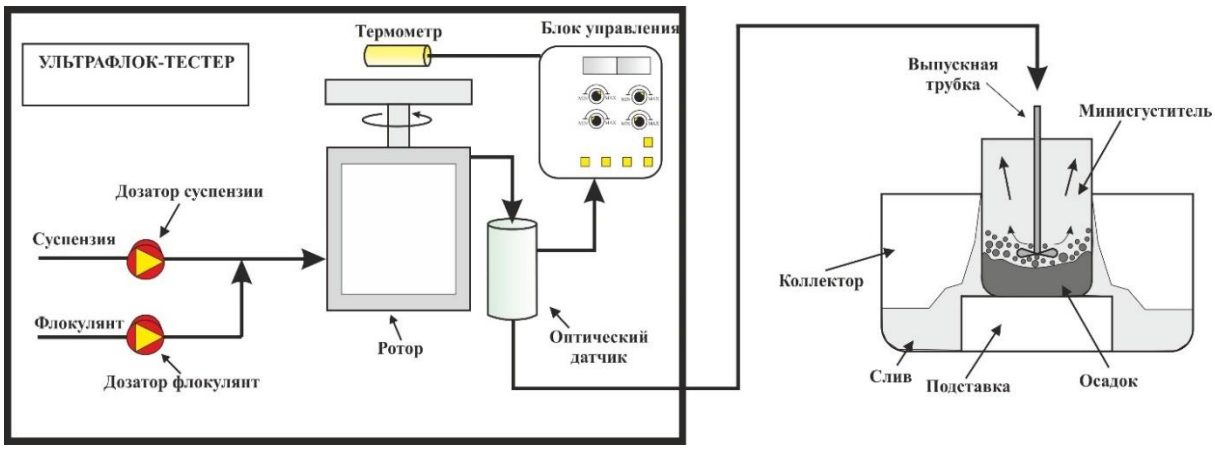


Рисунок 4 - Функциональная схема прибора «УльтраФлок-Тестер»

В блоке управления ультрафлоктестера (при постоянном расходе пульпы 1 см^3/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$^{-1}$).

Изучение относительной влажности материалов проводилось с использованием прибора Radwag MAC 210 (рис. 3).

Рисунок 5 - Определение влажности на анализаторе влажности RadwagMAC 210

Для выполнения лабораторного тестирования использовались образцы суспензии, приготовленные из отвальных хвостов флотационного обогащения ЖОФ с удельной массой частиц – 2,7 г/см^3, дисперсным

составом частиц (см. рис.5) 570 мкм - 59,8%, 11 мкм - 23,1% и << 1 мкм - 17% и концентрацией твердого – 50 - 100 г/л.

Результаты исследований

По данным лабораторного эксперимента по ультрафлокулярной обработке образца были построены кривые зависимости эффективности флокуляции (ЭФ) от расхода флокулянта (рис. 6).

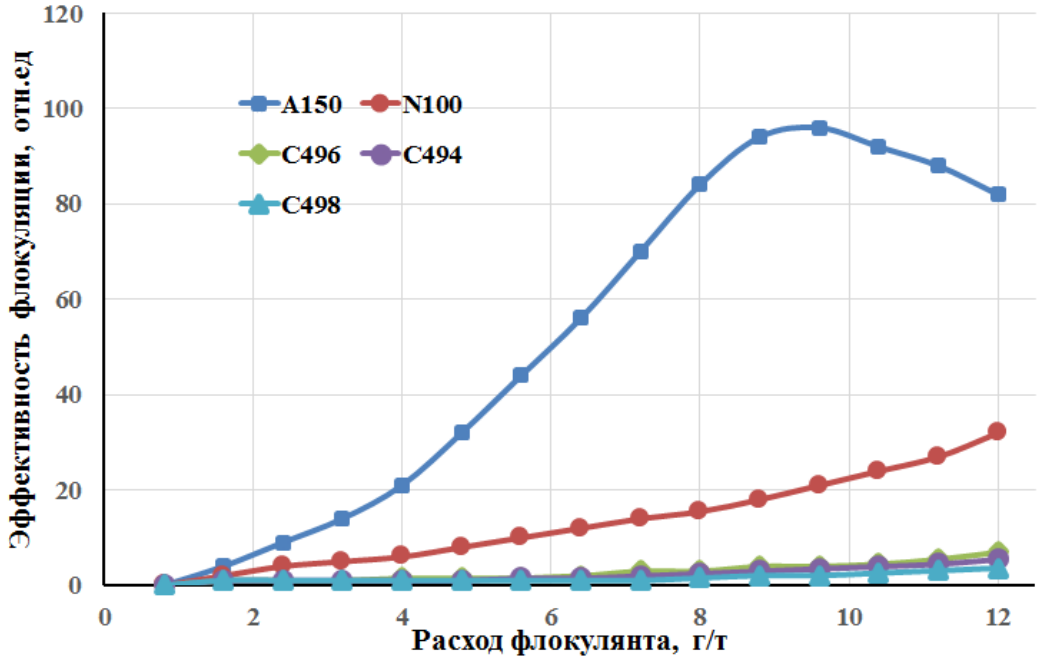


Рисунок 6 - Зависимость эффективности ультрафлокулярной обработки от расхода флокулянта: концентрация суспензии-100 г/л; градиент скорости среды-1500 $с^{-1}$; время обработки – 6 с

Сравнительные испытания флокулирующего действия неионогенного, катионного и анионного полиакриламидов в отношении отвальных хвостов флотационного обогащения показали, что наиболее предпочтительными являются анионные сополимеры. В ходе испытаний было установлено, что анионной флокулянт «А - 150» характеризуется лучшим флоккулирующим действием по отношении к исследуемому образцу. При оптимальном расходе 9 г/т флокулянта А - 150 ЭФ достигается 96-97% (рис.6). Дальнейшее увеличение концентрации флокулянта не целесообразно, так как приводит к снижению степени флокуляции, вероятно из – за перенасыщения и увеличения вязкости реагента, и ухудшению седиментационных свойств образованных флокул. Катионные флокулянты С-494, С-496, С-498 индифферентны к исследуемому образцу с точки зрения флокулирующего воздействие. Стоит отметить, что анионный флокулянт А - 150 по сравнению с другими флокулянтами серии Superfloc обладает наибольшим химическим сродством по отношению к хвостовой пульпе, состоящей главным образом из

пустой породы при не значительном содержании (сотые доли процента) металлорудного компонента.

На рис. 7 и 8 приведены зависимости ЭФ суспензии, от градиента скорости среды при различных временах гидродинамической обработки во ультрафлокуляторе (3, 6 и 12 секунд). Опыты проводились для суспензии с концентрацией твердого 100 г/л и 50 г/л, с целью сравнения влияния времени гидродинамической обработки на плотность пульпы. Отмечено, что с увеличением концентрации суспензии зависимость ЭФ от времени гидродинамической обработки существенно усиливается.

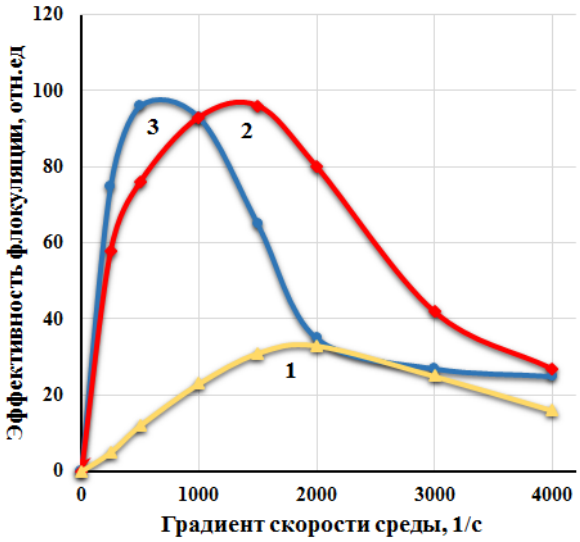


Рисунок 7- Зависимость эффективности ультрафлокулярной обработки от градиента скорости среды: концентрация суспензии – 100 г/л; флокулянт А - 150; расход флокулянта – 9 г/т; длительность гидродинамической обработки, с: 3 (1), 6 (2) и 12 (3).

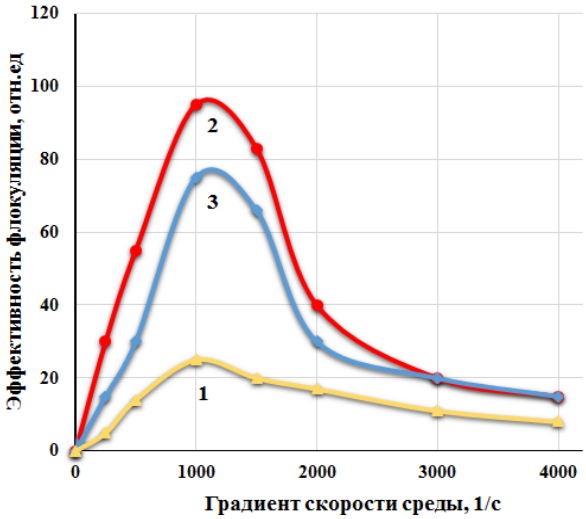


Рисунок 8 - Зависимость эффективности ультрафлокулярной обработки от градиента скорости среды: концентрация суспензии – 50 г/л; флокулянт А - 150; расход флокулянта – 9 г/т; длительность гидродинамической обработки, с: 3 (1), 6 (2) и 12 (3).

Влияние зависимости ЭФ от времени гидродинамической обработки с увеличением концентрации суспензии, может быть связано с процессом распределения флокулянта по всему объёму суспензии. С увеличением концентрации суспензии равномерное распределение флокулянта затрудняется и требует больше времени. Если это время все же мало, то, по графику видно, что процесс можно ускорить за счет увеличения градиента скорости среды G. Гидродинамическая обработка образцов показала важность правильного подбора соотношения между временем гидродинамической обработки и плотностью пульпы. Установлено, что образцы со плотностью пульпы 100г/т следует обрабатывать при значительно меньших градиентах скорости среды 500-1000 $с^{-1}$, но в течение более

длительного времени 12 с. Между тем, суспензии с относительно средней плотностью 50г/т проблем с равномерностью распределения флокулянта не возникает, и оптимальная скорость и время гидродинамической обработки для данного образца составляет 1000-1500с$^{-1}$ в течение 6 сек.

Одним из достоинств ультрафлокулярной обработки — это возможность получения более чистого слива, чем в обычной флокуляции в ламинарном режиме. Отсюда следует, применение ультрафлокулярной обработки относительно концентрированных суспензий (100…250 г/л) позволяет достичь более чистого слива сгустителя при меньших расходах флокулянта. На рис. 9 представлена зависимость остаточной концентрации перелива минисгустителя от интенсивности гидродинамической обработки (градиента скорости среды) в ультрафлокуляторе, полученная в процессе обработки хвостов флотации (100 г/л) раствором флокулянтом А - 150, расход которого составлял 9 г/т. Из представленного графика видно, что наилучшие результаты (20…30 мг/л) получаются, когда интенсивность гидродинамической обработки (осредненный градиент скорости среды) составляет 500…1500 с$^{-1}$. В случае же обычной обработки (градиент скорости – 100…200 с$^{-1}$, остаточная концентрация взвеси в переливе, примерно, на порядок больше и составляет 150…400 мг/л.

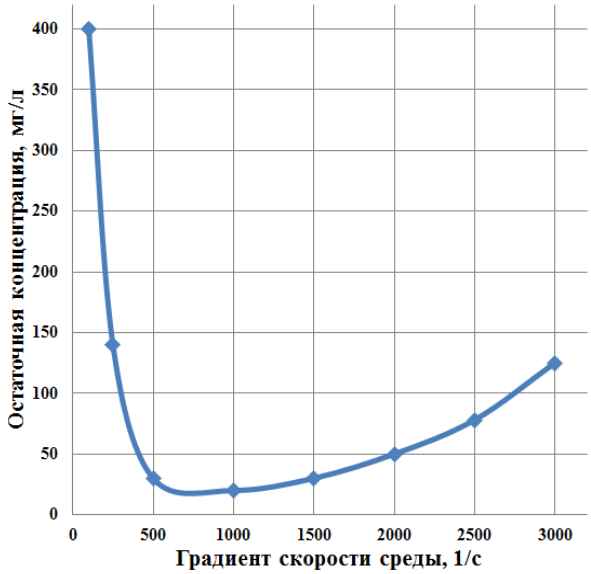


Рисунок 9- Зависимость остаточной концентрации твердого в сливе минисгустителя от осредненного градиента скорости среды в ультрафлокуляторе при концентрации суспензии хвостов флотации –100 г/л, расходе флокулянта А - 150 – 9 г/т, времени обработки – 12 с.

Для показа благоприятного воздействия, которое оказывает ультрафлокулярная обработка на удельный объём осадка и его водоотдачу при фильтровании, на рис. 10, представлены зависимости влажности осадка сфлокулированной суспензии после его выдержки на сетке в течение 5 минут

и после последующего фильтрования на воронке Бюхнера с помощью вакуумного насоса при давлении 0,02 МПа в течение 2 минут. Затем, на анализаторе влажности Radwag MAC 210 было определено относительное содержание влаги в рассматриеваемых образцах.

Рисунок 10 - Зависимость влажности осадка после отделения на сетке (1) и после фильтрования на вакуумном насосе (2) от градиента скорости среды, концентрация суспензии илов – 100 г/л, расход флокулянта А150 – 9 г/т, время обработки – 12 с.

На графике четко видно, что минимальное значение влажности осадка до прессования достигается при значении градиента скорости среды G, равном, примерно 2000 $с^{-1}$, а минимальное влагосодержание отфильтрованного кека (примерно, 31,3 % достигается при значении G = 1000$с^{-1}$.

Из рассмотренных флокулянтов серии Superfloc наиболее эффективным по отношению к исследуемым образцам суспензий из отвальных хвостов флотационного обогащения ЖОФ является анионный флокулянт марки А - 150. Расход данного флокулянта для суспензии с концентрацией твердого100 г/л составил 9 г/т.

Было установлено, что относительно плотные суспензии 100 г/т следует обрабатывать при градиентах скорости среды G = 500 - 1000 $с^{-1}$ в течение 12с, а суспензии с относительно средней плотностью 50г/т – при G = 1000-1500$с^{-1}$ в течение 6 с.

Использование ультрафлокуляционной обработки для суспензии 100г/т в течение 12 с и интенсивностью G в пределах 500…1500 $с^{-1}$ снизило остаточное содержание твердого в сливе сгустителя до уровня 20-30 мг/л.

Зависимость влажности сфлокулированного осадка после выдержки на сетке от градиента скорости среды имеет экстремальный характер с минимумом в области значения G≈ 2000 $с^{-1}$.

Зависимость влажности кека после фильтрования на вакуумном насосе от градиента скорости среды имеет экстремальный характер с минимумом в области значения G≈ 1000 $с^{-1}$.

3 Обсуждение результатов

Остаточная концентрация. На рис. 11 представлены зависимости остаточной концентрации частиц глины в осветленной воде C_{res} после 30 мин отстаивания в коллекторе от интенсивности обработки суспензии в динамическом миксере (ультра-флокуляторе) и концентрации флокулянта. Из приведенных графиков видно, что в области значений G_0 = 2000 – 4000 $с^{-1}$ наблюдается ярко выраженный минимум остаточной концентрации, который углубляется по мере увеличения концентрации флокулянта в диапазоне 1 – 4 мг/л. Увеличение C_{res} в области значений G_0 > 3000 – 4000 $с^{-1}$ обусловлено тем, что время формирования флокул максимального размера $t_{\max}$ во флокуляторе зависит от интенсивности обработки G_0. Если исходить из уравнения Смолуховского для ортокинетической коагуляции, то легко показать, что $t_{\max} \sim 1/G$. Поскольку в данном эксперименте суспензия обрабатывалась в ультра-флокуляторе одно и тоже время t_0 = 5 с, то отсюда следует, что при очень малых G_0, $t_0 << t_{\max}$, а при очень больших G_0, $t_0 >> t_{\max}$. В первом случае, суспензии просто не хватает времени нахождения во флокуляторе, чтобы полностью сфлокулироваться и сформировать флокулы максимального размера. В результате в воде остается очень много несфлокулированных мелких частиц, которые очень медленно седиментируют. Во втором случае, флокулы достигают максимального размера задолго до окончания обработки в ультра-флокуляторе. После этого они продолжают многократно агрегировать и дробиться, образуя множество относительно мелких, медленно седиментирующих осколков. Кроме того, следует учесть, что с увеличением G_0 уменьшается также и максимальный размер стабильных в данном гидродинамическом поле флокул $d_{F\max}$, что снижает скорость их седиментации. Это объяснение достаточно наглядно подтверждается микрофотографиями суспензий, представленными в. Таким образом, минимум на кривых $C_{res}(G_0)$ соответствует значениям G_0, при которых $t_0 \approx t_{\max}$. Отсюда следует, что с уменьшением времени обработки в ультрафлокуляторе оптимальное значение G_0 будет несколько смещаться в область больших значений. Из приведенных на Рис. 3 кривых следует, что использование ультра-флокулярной обработки позволяет не только увеличить в несколько раз качество осветленной воды, но и/или в несколько раз снизить потребление флокулянта. Действительно, если сравнить кривые 1

и 4 на Рис.3, то становится понятно, что тот же эффект осветления, который достигается при большой дозе флокулянта, но без ультра-флокулярной обработки, можно получить при дозе флокулянта, которая в 2-3 раза меньше, но с использованием оптимальной ультра-флокулярной обработки.

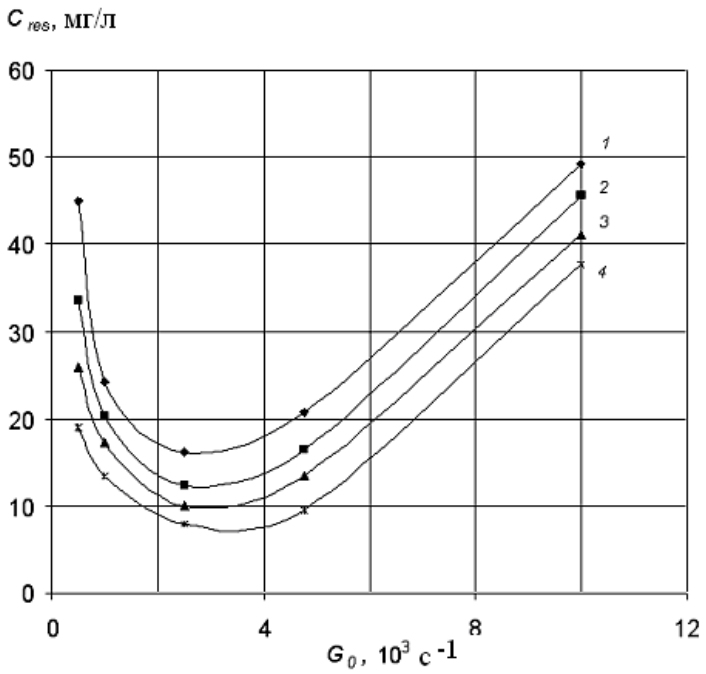


Рисунок 11 - Зависимость остаточной концентрации V_{res} суспензии глины (Na - монтмориллонит, дистиллированная вода, $NaNO_2$ -0.5 г/л, концентрация твердого – 200 мг/л, pH-7.2,) после 30 мин седиментации в коллекторе от интенсивности гидродинамической обработки в ультра-флокуляторе G_0 . Концентрация флокулянта (Magnafloc 368): 1.6(1); 2.17(2); 2.75(3); 3.7(4):

3.1 Удельный объем осадка

Как уже отмечалось, ультра-флокулярная обработка позволяет достичь значительно более высокой плотности упаковки частиц, чем обычное перемешивание. Это очень хорошо подтверждается семейством кривых приведенных на рис.12, где показана зависимость удельного объема глины от интенсивности обработки в ультра-флокуляторе G_0 при различных временах седиментации в коллекторе. Из рисунка видно, что при временах отстаивания менее одного часа минимум $V_{spec}(G_0)$ наблюдается при $G_0 \approx$ 1000 с$^{-1}$. При временах же отстаивания более 1 часа соответствующий, но более глубокий минимум зависимости $V_{spec}(G_0)$ наблюдается при $G_0 \approx$ 2500 с$^{-1}$. Такое поведение осадка можно объяснить тем, что при низких интенсивностях ультра-флокулярной обработки первичные флокулы значительно менее

плотно упакованы, но зато они значительно крупнее и поэтому быстро формируют плотный осадок. При больших же интенсивностях обработки первичные флокулы значительно меньше в размере и поэтому они медленнее образуют плотный осадок. Однако, в силу того, что в последнем случае плотность упаковки флокул значительно выше, со временем они дают более плотный осадок, чем флокулы сформированные в более слабонеоднородном гидродинамическом поле.

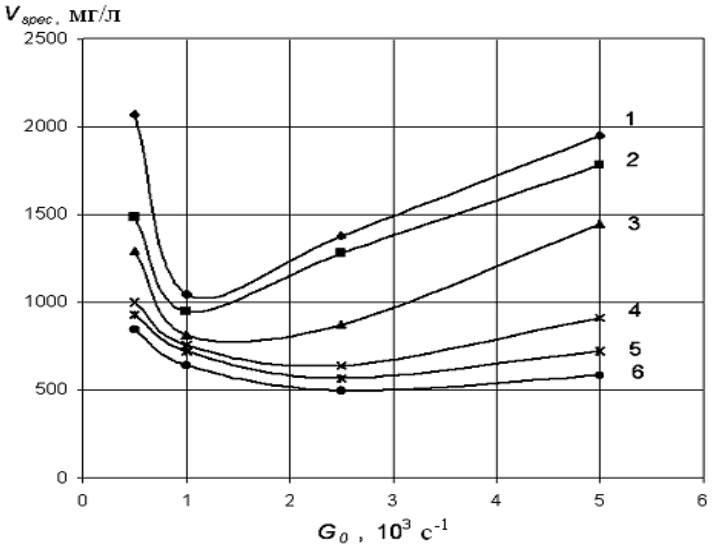


Рисунок 12 - Зависимость удельного объема осадка V_{spec} суспензии глины (дистиллированная вода, Na-монтмориллонит, предварительно обработанный ультразвуком, концентрация твердого – 200 мг/л, $NaNO_2$ - 0,5 г/л, pH-7.2, Magnafloc 368 – 1,6 мг/л) от интенсивности гидродинамической обработки в ультра-флокуляторе G_0 при различных временах седиментации в коллекторе, час: 0,25(1); 0,5(2); 1,0(3); 2,0(4); 3,0(5); 4,0(6)

Таким образом, как следует из данных представленных на рис.12, ультра-флокулярная обработка позволяет не только ускорить процесс седиментационного разделения фаз суспензии, но и, как минимум, в 2 раза, уменьшить удельный объём осадка.

Альтернативно, ультра-флокулярная обработка может быть использована для экономии флокулянта. Действительно, сравнивая кривые 2 и 4 на рис. 13, можно заметить, что тот же эффект уплотнения осадка, который достигается при большой дозе флокулянта, но без ультра-флокулярной обработки, можно получить при использовании в 3-4 раза меньшей дозы флокулянта, но с применением оптимальной ультра-флокулярной обработки.

Роль мягкой гидродинамической обработки

В отличие от концентрированных суспензий, при обработке разбавленных суспензий существенное значение имеет не только жесткая, но

и мягкая обработка. Подтверждением тому служат данные представленные на Рис.5, где показаны зависимости остаточной мутности осветленной воды от времени и интенсивности обработки в статическом миксере $Tu(G_i, t_i)$ суспензии глины. Для того, чтобы получить более выраженные результаты, эксперименты проводились на установке, схематически показанной на Рис.2 с тем отличием, что из всех трубчатых статических миксеров использовался только один (3-й или 4-й), т.е. мягкая гидродинамическая обработка осуществлялась при G_2 = 96,5 с$^{-1}$ или G_3 = 32 с$^{-1}$. Время мягкой обработки изменяли путем изменения длины трубки. Как следует из рис. 13, остаточная мутность осветленной воды существенно уменьшается при увеличении времени и интенсивности мягкой гидродинамической обработки.

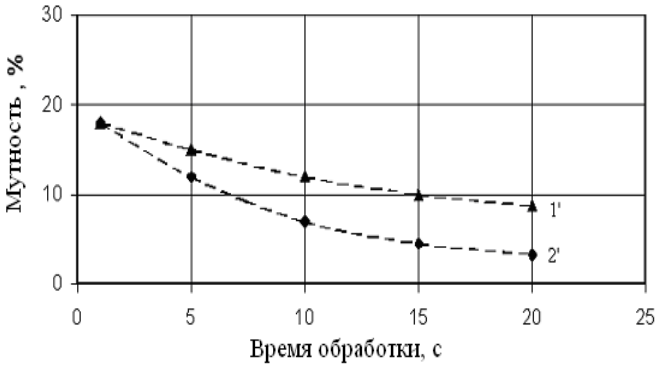


Рисунок 13 - Остаточная мутность суспензии и глины в зависимости от времени мягкой обработки при разных значениях G , с$^{-1}$: 32(1); 96(2).

Исходя из вышеизложенных теоретических положений, а также результатов экспериментальных исследований можно заключить нижеследующее:

Используя жесткую гидродинамическую обработку, характеризующуюся градиентом скорости среды G =2000 – 4000 с$^{-1}$, а также последующую постадийную ступенчато убывающую по интенсивности (от 1000 до 30 с$^{-1}$) мягкую гидродинамическую обработку можно достичь существенного улучшения результатов флокуляции и последующего седиментационного разделения разбавленных (< 1 г/л твердого) тонкодисперсных (< 1 мкм) суспензий, а именно: Ускорение процесса седиментации сфлокулированных суспензий более чем в 2 раза; Уменьшение остаточной концентрации твердого в воде в 4-10 раз; Уменьшение расхода флокулянта в 2-3 раза; Уплотнение осадка твердой фаза в 1.5-2 раза

3.2 Новые приборы

Недавно фирмой «ТУРБОФЛОТСЕРВИС» (Украина) разработан новый прибор («УльтрафлокТестер-2010»), который позволяет быстро определять оптимальные тип и дозировку флокулянта, а также устанавливать оптимальный режим гидродинамической обработки суспензии сгущение и фильтрация обогащения в зависимости от их состава, концентрации и дисперсности.

Рисунок 14 - „УльтрафлокТестер-2010”

В отличие от аналогичных приборов (например, “PDA2000”, Rank Brothers Ltd), настоящий прибор «УльтрафлокТестер-2010», по существу, представляет собой минилабораторию, предназначенную как для научных, так и для прикладных исследований в области флокуляции непосредственно на промышленных предприятиях.

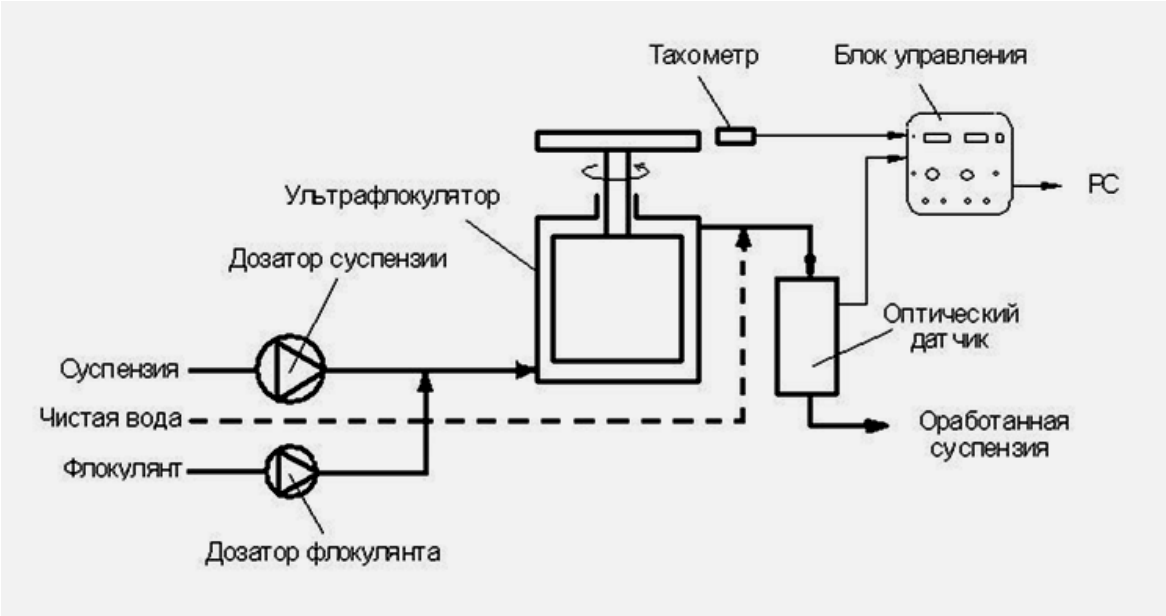


Рисунок 15 - Функциональная схема прибора «УльтрафлокТестер-2010»

Помимо оптоэлектронной измерительной системы, работающей по принципу, предложенному Дж. Грегори и Д. Нельсоном (J. Gregory and D. W. Nelson. «A new method for flocculation monitoring” In Solid-Liquid Separation (J.Gregory, Ed.) Ellis Horwood, Chichester,1984, pp. 172-182) в приборе используется также принцип ультрафлокуляции, предложенный Н.Н.Рулёвым (N.N. Rulyov. Hydrodynamic destruction of waste emulsions in the process of its separation through ultraflocculation and microflotation // Proceedings of 2-nd World congress on emulsion, 23-26 Sept. 1997, V.2, No. 3-2-25.), позволивший уменьшить время измерения эффективности флокуляции, примерно, в 100 раз (от 20-30 минут до 10-15 секунд). Этот результат достигается за счет кратковременной обработки исследуемой суспензии в сильнонеоднородном гидродинамическом поле, формируемом в цилиндрическом флокуляторе Куэтта.

Использование флокулятора позволяет не только ускорить процесс измерения (в относительных единицах) эффективности флокуляции (ЭФ), определяемого размером флокул, но и оценить относительную степень осветления водной фазы. Кроме того, прибор позволяет оперативно оценить прочность флокул путем измерения зависимости ЭФ от осредненного градиента скорости среды во флокуляторе. Последний может задаваться в широком диапазоне (от 100 до 13500 $с^{-1}$) путем изменения скорости вращения ротора флокулятора. Существенным преимуществом прибора является также и то, что он содержит два дозирующих насоса, с помощью которых можно не только задавать требуемый расход флокулянта на единицу взвешенного вещества, но и работать с относительно концентрированными суспензиями (до 400 г/л).

Более детально работу прибора можно представить с помощью вышеприведенной схемы. Исследуемая суспензия и раствор флокулянта с помощью дозирующих насосов непрерывно смешиваются и подаются во флокулятор, где они подвергаются гидродинамической обработке заданной интенсивности в течение 6 секунд и затем следуют на выход из прибора через оптический датчик, измеряющий флуктуации светового потока, пронизывающего суспензию, движущуюся в прозрачном канале.

Таблица 4 - Основные характеристики прибора

Режим измерения	непрерывный
Концентрация тестируемых суспензий	20 мг/л – 400 г/л
Максимальный размер частиц, мм	0,5
Расход образца, мл/с	1± 0,02
Время одного измерения, с	15
Расход образца на одно измерение, мл	15
Диапазон интенсивности гидродинамической обработки (Средний градиент скорости среды), $с^{-1}$	0 – 13500
Время обработки во флокуляторе, с	6 ± 0,3

Потребление раствора флокулянта, мл/с	0,01-0,11 (шаг ≈ 0,01)
Точность дозирования флокулянта, %	± 2
Напряжение питания прибора	220 В/50 Гц
Потребляемая мощность не более, Вт	100
Габариты (Ш х Д х В), мм	365 х 320 х 220
Вес, кг	8,5
Место на столе, (Ш х Д), м	0,6 х 0,5

Сигнал оптического датчика поступает на блок управления, где он обрабатывается и высвечивается в виде трехзначного числа на цифровом табло прибора, показывая эффективность флокуляции. На лицевой панели прибора имеется также трехзначное табло, на котором отражается значение осредненного градиента скорости среды и частота вращения ротора флокулятора, регистрируемая с помощью оптоэлектронного тахометра. Изменяя расход флокулянта, а также скорость вращения ротора, можно определить оптимальные реагентный и гидродинамический режимы обработки суспензии. Поскольку время обработки суспензии во флокуляторе составляет всего несколько секунд, отклик после изменения какого либо параметра (дозы флокулянта или интенсивности обработки) появляется через 5-10 секунд, а окончательный результат готов через 15 секунд. Таким образом, измерение зависимости качества флокуляции от концентрации флокулянта в пределах одного порядка занимает примерно 3 минуты. Естественно, выходящий из прибора обработанный образец может быть собран и проанализирован другими методами.

В случае необходимости исследования влияния времени ультрафлокулярной обработки на качество флокуляции, образец может подаваться от внешнего дозирующего насоса с регулируемым расходом. Наличие в приборе широкого диапазона усиления оптоэлектронного сигнала позволяет исследовать суспензии, концентрация твердого в которых меняется в диапазоне от 20 мг/л до 400 г/л

3.2.1 Лабораторные испытания эффективности ультрафлокулярной технологии фильтрации после обогащения медной руды

В процессах обогащения цветных и редких металлов образуется большое количество концентрированных техногенных суспензий, подлежащих сепарации путем сгущения в радиальных сгустителях. С целью ускорения процесса седиментации частиц дисперсной фазы, в суспензию перед подачей в сгуститель добавляют раствор флокулянта, предназначенный связывать отдельные частицы в относительно крупные быстро оседающие флокулы. Так как молекулы флокулянта, в большинстве случаев, представляют собой довольно крупные полимерные образования с

молекулярной массой порядка 10-20 миллионов Дальтон, их переход из исходного (стокового) раствора в суспензию, равномерное распределение в дисперсионной среде и адсорбция на поверхности взвешенных частиц требует достаточно большого времени. Как показано это время можно сократить до 5-6 секунд путем использования соответствующей гидродинамической обработки суспензии при некотором оптимальном значении градиента скорости среды G. В результате такой обработки, получившей название «ультрафлокуляция», происходит не только быстрое и равномерное распределение молекул флокулянта в суспензии и их адсорбция на поверхности частиц, но и формирование крупных и плотных флокул. В зависимости от дисперсного состава и удельной массы частиц, а также их объемной концентрации, оптимальные значения осредненного градиента скорости среды G_{opt} могут меняться в широком диапазоне: от 300 до 5000 с-1. Важным преимуществом ультрафлокулярной обработки является то, что она обеспечивает консолидацию крупных и мелких частиц непосредственно в процессе формирования флокул, т.е. еще до попадания их в сгуститель, что, собственно, и обеспечивает их быструю седиментацию и высокую степень осветления водной фазы. Ниже приводятся результаты исследования влияния режима ультрафлокулярной обработки на процесс сепарации хвостов флотационного обогащения медной руды.

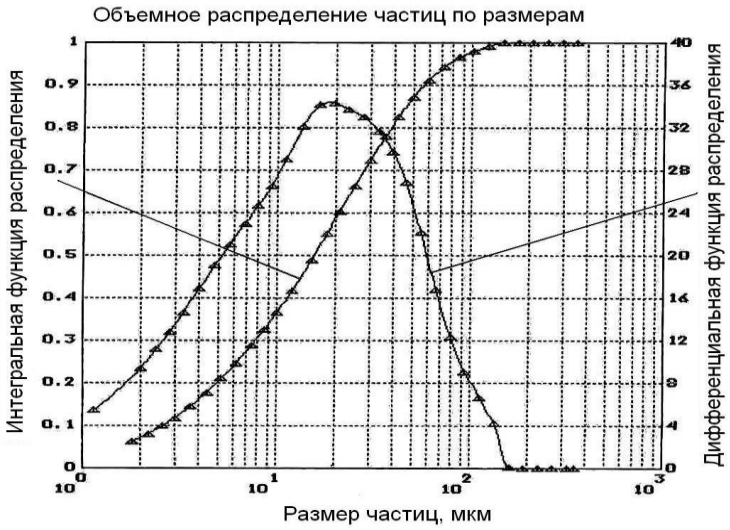


Рисунок 16 - Интегральная и дифференциальная функции распределения частиц по размерам. Хвосты флотационного обогащения ОФ “Pelambres” (Чили)

Результаты и их обсуждение

На рис.16 (а-с) представлены зависимости эффективности флокуляции (ЭФ) (или относительного размера флокул (ОРФ)) от дозы флокулянта для суспензий с различной концентрацией твердого. Флокуляцию осуществляли в течении 6 секунд при оптимальных (для соответствующей концентрации

суспензии) значениях градиента скорости среды (ГСС) G, приведенных в Таблице 3. Как видно из представленных графиков, по мере увеличения концентрации суспензии от 50 до 400 г/л, расход флокулянта, при котором начинает проявляться эффект флокуляции, увеличивается с, примерно, 1 г/т до 10 г/т. При этом форма зависимости «Расход флокулянта»-«ЭФ» изменяется с выпуклой на вогнутую с переходом через S-образную. Наблюдаемое увеличение расхода флокулянта с увеличением концентрации суспензии скорее всего связано с замедлением процесса рассеяния молекул флокулянта по объему водной фазы при увеличении объемной концентрации взвешенных частиц.

На Рис.10(а-с) представлены зависимости ЭФ (или ОРФ) от ГСС, G, откуда видно, что с увеличением дозы флокулянта максимум зависимости «ЭФ»-«G» смещается в область больших значений G. Это можно объяснить тем, что с увеличением дозы флокулянта увеличивается прочность парных связей частиц во флокуле, позволяет формировать более крупные и прочные флокулы.

Поскольку с увеличением размера флокул должна также увеличиваться и скорость их осаждения V, то отсюда следует, что положение максимумов на кривых «ЭФ»-«G» должны соответствовать положению максимумов кривых зависимости «V»-«G». Это предположение полностью подтверждается зависимостями «V»-«G», измеренными вышеописанным способом и представлеными на Рис.11 Таким образом, оптимальному значению градиента скорости среды G_{opt}, измеренному с помощью прибора “UltraflocTester: UFT-TFS-029”, отвечает максимальная начальная скорость осаждения сфлокулированной суспензии, что позволяет использовать этот прибор для определения оптимальных условий флокулярной обработки суспензий перед подачей их в сгуститель.

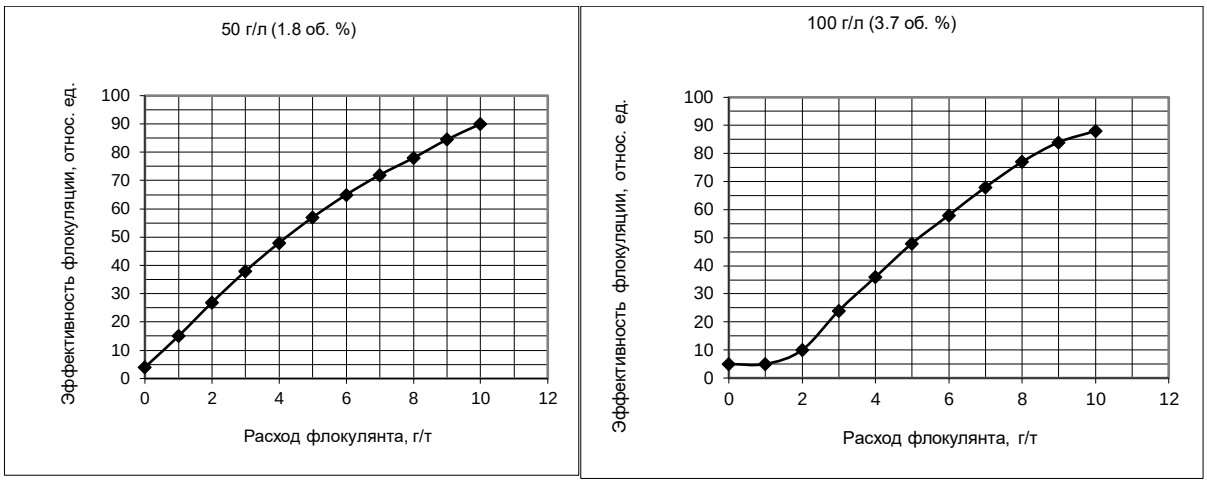
На рис.17 представлена зависимость оптимального ГСС G_{opt} от концентрации рассматриваемой суспензии C_s. Из рисунка видно, что с увеличением концентрации суспензии C_s с 50 до 280 г/л оптимальное значение ГСС G_{opt} уменьшается с 600 до 280 с$^{-1}$, а затем снова начинает расти и, при значении концентрации суспензии 400 г/л снова составляет 600 с$^{-1}$. Такое поведение зависимости «G_{opt}»-«C_s» объясняется тем, что с увеличением концентрации суспензии процесс укрупнения флокул, согласно теории Смолуховского, ускоряется и максимальный размер флокул достигается за более короткое время. Поскольку в приборе “UltraflocTester: UFT-TFS-029” время обработки постоянное и составляет 6 секунд, то более концентрированная суспензия при одном и том же значении G успевает сформировать флокулы максимального размера за более короткое, чем 6 сек, время, после чего они начинают рваться с образованием мелких фрагментов, как это описано в [14, 15]. В этом случае, согласно правилу Кэмпа, следует уменьшать либо время обработки суспензии t, либо градиент скорости среды

G, чтобы число Кэмпа $K = Gt\varphi$ (где φ - объемная концентрация суспензии), было примерно постоянным. С другой стороны, с увеличением концентрации суспензии замедляется процесс рассеивания молекул флокулянта по ее объему. Об этом, в частности, свидетельствует необходимость увеличения расхода флокулянта с увеличением концентрации суспензии при постоянном времени обработки, как это следует из данных, представленных на рис.17. Поскольку, благодаря конвективной диффузии, с увеличением ГСС скорость растворения флокулянта в суспензии существенно увеличивается, то это приводит к росту зависимости $G_{opt}(C_s)$ в области больших значений C_s. При этом достигается и некоторое снижение расхода флокулянта.

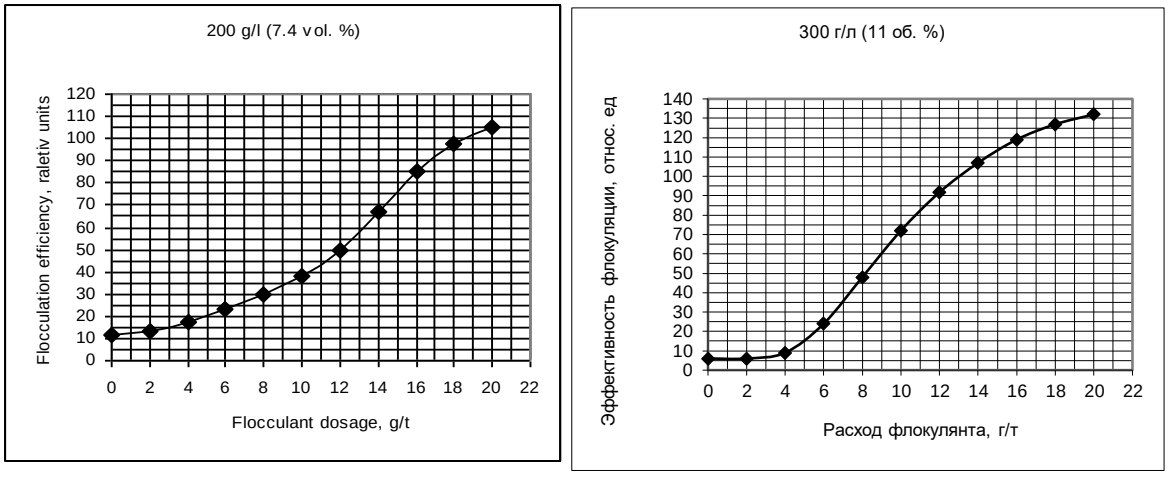
Как известно, основным фактором, определяющим скорость сгущения суспензии (и соответственно производительность сгустителя) является т. н. объемная плотность потока взвешенного вещества: $F = V\varphi = VC_s / \rho$, где ρ - удельная масса взвешенных частиц. Для оценки того, насколько ультрафлокуляция влияет на процесс сгущения, на рис.17 и в табл.5 представлены зависимости $F(C_s)$, рассчитанные на основании полученных данных относительно скорости осаждения V (Рис.25), для суспензий обработанных при оптимальных ГСС, G_{opt} и при G=100 $с^{-1}$. Из приведенных данных следует, что ультрафлокуляция увеличивает скорость сгущения суспензии примерно в 1,5 раза, причем, максимальная скорость сгущения рассматриваемой суспензии достигается при концентрации 85 г/л (0,03 об. %). Следует, однако, учесть, что реальное значение ГСС при обработке подобных суспензий в промышленности составляет менее 30 $с^{-1}$. Поэтому следует ожидать, что применение ультрафлокулярной обработки в оптимальном гидродинамическом режиме позволит в 1,5-2 раза увеличить производительность существующих сгустителей и (или) существенно снизить расход флокулянтов.

Таблица 5 - Сводные данные

Концентрация твердого C_s, г/л	Объемная концентрация твердого φ	Скорость оседания V_{max} / V_{100} мм/с	Скорость сдвига G_{opt} $с^{-1}$	Расход флокулянта P, г/т	$C_s \cdot V_{max}$ 10^{-4} г/сс²с	F_{opt}/F_{100} 10^{-4} м/с
50	0,018	20 / 14	600	10	1000	3,72/ 2.6
100	0,037	13,6 / 9	500	8	1360	5,03 / 3.51
200	0,074	2,26 / 1,5	350	16	452	1,67 / 1.11
300	0,111	0,5 / 0,24	300	10	150	0,51 / 0.27



(a) (b)

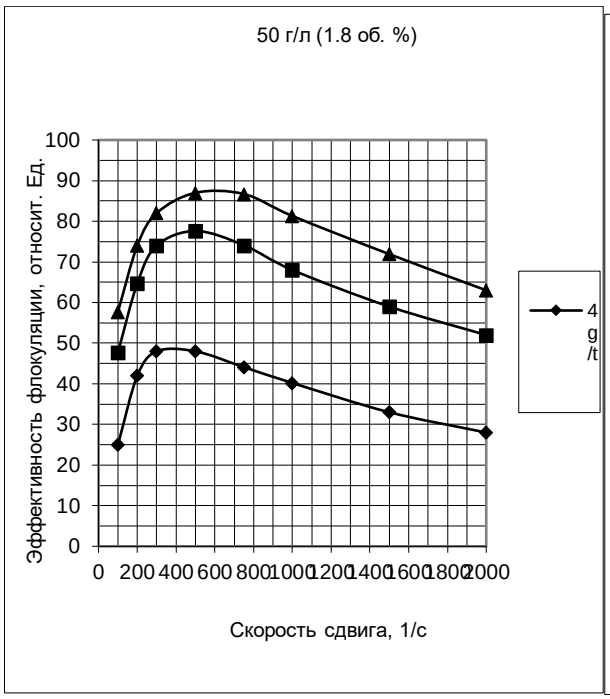


(c) (d

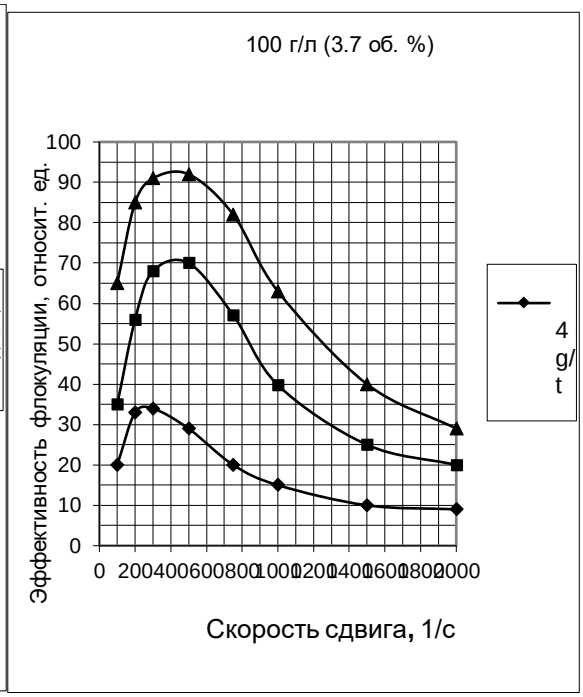
C_s и оптимальном значении градиента скорости среды, G_{opt}.

Время обработки – 6 с.(C_s, г/л)/(G_{opt}, с$^{-1}$): 50/600-(a); 100/500(b); 200/350(c); 300/300(d); 405/600(e).

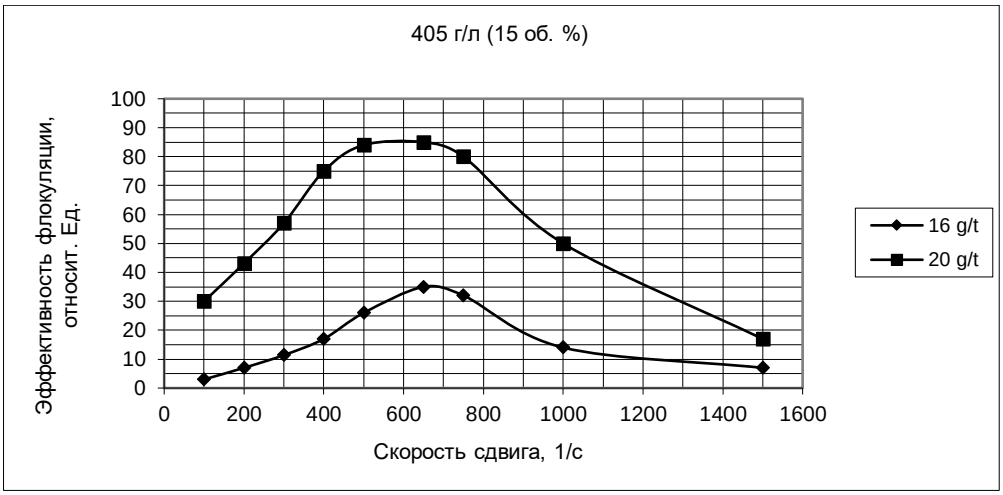
Рисунок 17 - Зависимость эффективности флокуляции (относительного размера флокул) от дозы флокулянта при различных концентрациях твердого



(a)



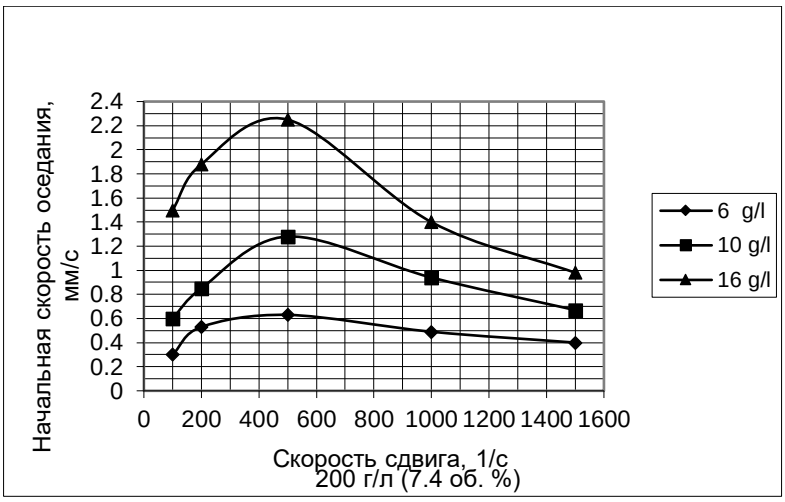
(b)



(c)

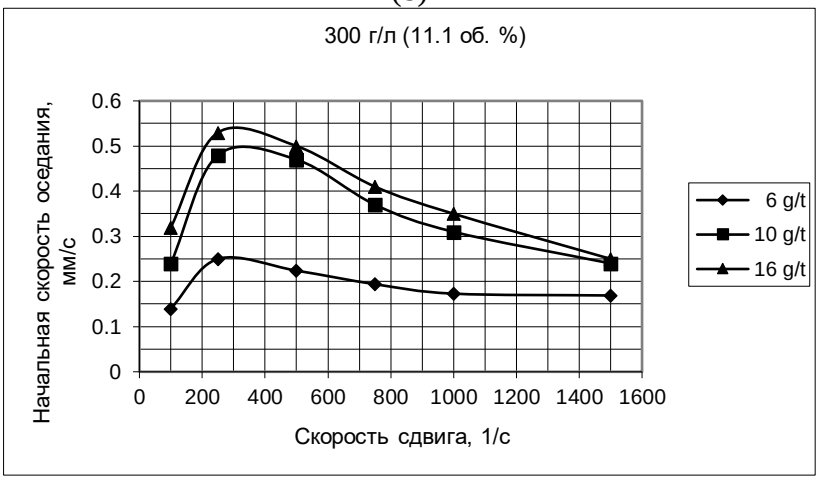
Рисунок 18 - Зависимость эффективности флокуляции (относительного размера флокул) от градиента скорости среды G при различны концентрациях суспензии и дозах флокулянта

(a)



200 г/л (7.4 об. %)

(b)



(c)

Рисунок 19 - Зависимость начальной скорости осаждения границы осадка от градиента скорости среды для суспензий с различными концентрациями твердого и расходами флокулянта

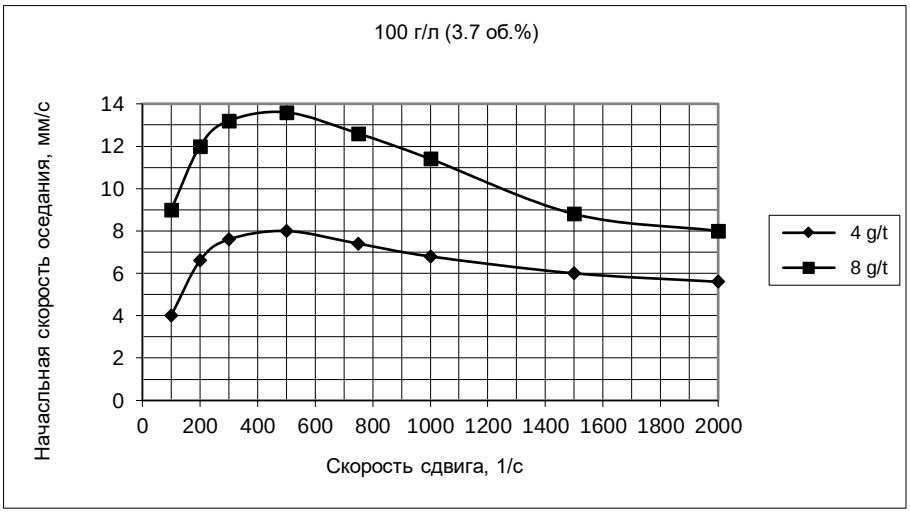


Рисунок 20 - Зависимость оптимального градиента скорости среды от концентрации суспензии

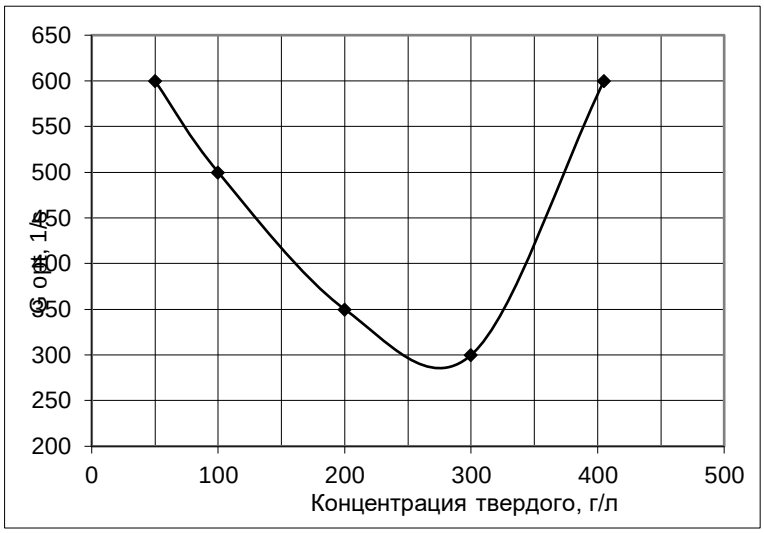


Рисунок 20 - Зависимость оптимального градиента скорости среды от концентрации суспензии

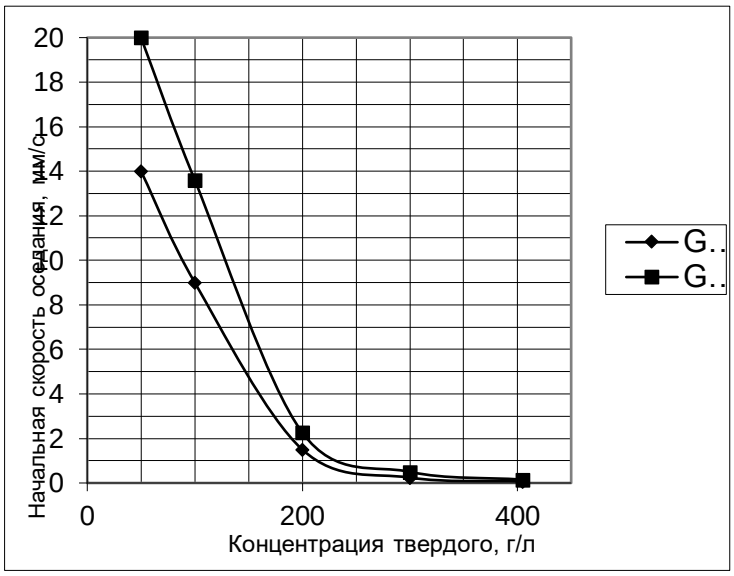


Рисунок 21 - Зависимость начальной скорости осаждения поверхности осадка от концентрации суспензии при различных градиентах скорости среды (100 с$^{-1}$, и G_{opt})

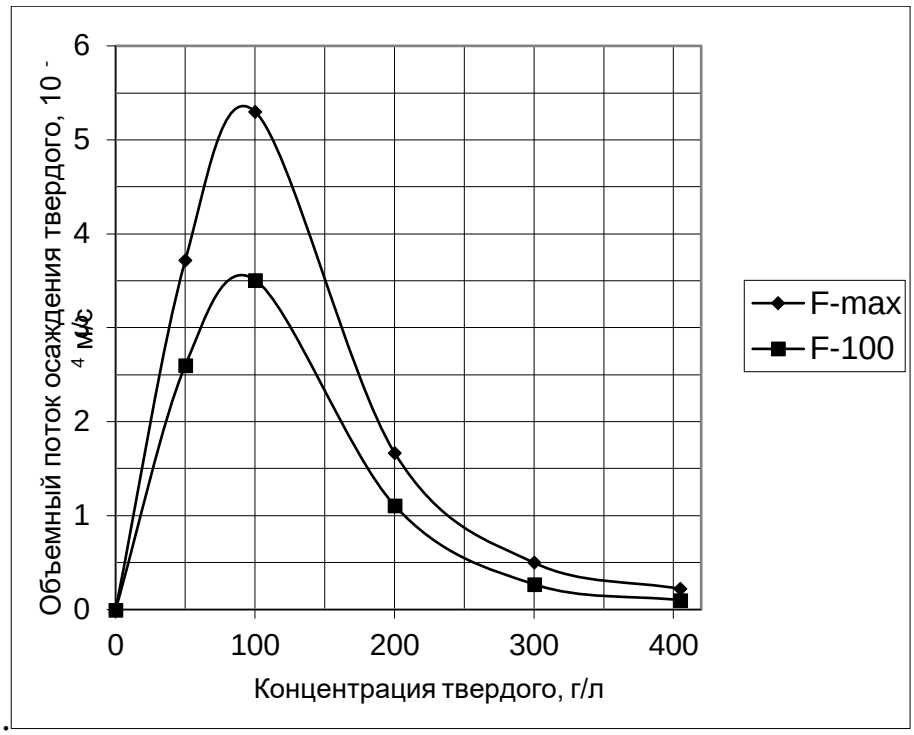


Рисунок 22 - Начальный объемный поток осаждения взвешенных частиц $F(C_s)$ при оптимальном градиенте скорости среды G_{opt} и при G=100 с$^{-1}$

Исходя из вышеизложенных теоретических положений, а также результатов экспериментальных исследований можно заключить нижеследующее:

Используя жесткую гидродинамическую обработку, характеризующуюся градиентом скорости среды G=2000 – 4000 с$^{-1}$, а также последующую постадийную ступенчато убывающую по интенсивности (от 1000 до 30 с$^{-1}$) мягкую гидродинамическую обработку можно достичь существенного улучшения результатов флокуляции и последующего седиментационного разделения разбавленных (< 1 г/л твердого) тонкодисперсных (< 1 мкм) суспензий, а именно:

- Ускорение процесса седиментации сфлокулированных суспензий более чем в 2 раза;
- Уменьшение остаточной концентрации твердого в воде в 4-10 раз;
- Уменьшение расхода флокулянта в 2-3 раза;
- Уплотнение осадка твердой фаза в 1.5-2 раза

По разделу 3

На основании представленных в Разделе 3 результатов исследования влияния ультрафлокулярной обработки на скорость сгущения хвостов флотационного обогащения медной руды на ОФ «Пелямбрес» (Чили) в радиальном сгустителе можно заключить нижеследующее:

1. Ультрафлокуляция суспензии при оптимальном гидродинамическом режиме обработки позволяет более чем в 1,5 раза увеличить производительность радиального сгустителя.

2. Максимальная скорость сгущения при оптимальном гидродинамическом режиме обработки достигается при концентрации суспензии в диапазоне 75-115 г/л.

3. С увеличением концентрации суспензии в диапазоне 50-400 г/л расход флокулянта увеличивается с 10 до 20 г/т.

4. При увеличении концентрации суспензии с 50 до 280 г/л оптимальное значение градиента скорости среды уменьшается с 600 до 280 $с^{-1}$, а при увеличении концентрации суспензии с 280 до 400 г/л оптимальное значение градиента скорости среды увеличивается с 280 до 600 $с^{-1}$.

5. С помощью прибора “UltraflocTester: UFT-TFS-029” можно однозначно определить оптимальные условия ультрафлокулярной обработки суспензии, при которой достигается максимальная скорость сгущения суспензии.

3.2.2 Процесс сгущения продуктов обогащения ультрафлокулянтами в ламинарном режиме

Исследована зависимость оптимальных параметров гидродинамической обработки водной суспензии кварца в процессе ее ультра-флокуляции от ее дисперсного состава и концентрации. Показано, что: С увеличением дисперсности суспензия может обрабатываться в более неоднородных гидродинамических полях (градиент скорости среды >2000 с G -1) в течение более короткого времени (t< 6 с); При уменьшении дисперсности суспензии оптимальный режим гидродинамической обработки определяется параметрами: 500<G<1000 с-1; > 10 с; Зависимость влажности сфлокулированного осадка от градиента скорости среды имеет экстремальный характер с минимумом в области значения ≈ 2000-3000 с t G -1; Качество осветления водной фазы после седиментации суспензии, подвергнутой ультра-флокуляции, достигает высокого значения при значениях >2000 с G -1; При увеличении концентрации суспензии затрудняется равномерное распределение молекул флокулянта по ее объему, что может быть скомпенсировано за счет увеличения . G

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 «ультра-флокуляция», 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 сильнонеоднородных гидродинамических полей

позволяет в считанные секунды не только достичь равномерного распределения молекул флокулянта в объёме суспензии и на поверхности флокулируемых частиц, но и сформировать относительно большие и компактные флокулы. 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. В этой связи значительный практический интерес представляет зависимость оптимальных параметров гидродинамической обработки (длительности и интенсивности) от дисперсного состава и концентрации суспензии, обрабатываемой посредством ультра-флокуляции. Ниже приводятся результаты исследования этих аспектов ультра-флокуляции на примере суспензии кварца.

Теория В соответствии с теорией ортокинетической коагуляции, средний размер агрегатов (флокул), образующихся в процессе флокуляции на ранних ее стадиях, в первом приближении можно оценить по уточненной формуле Смолуховского :

$$D(t) = d\exp\left(\frac{4\varphi}{3\pi(1-p)}G\alpha t\right) \qquad (9)$$

где - исходный размер флокулируемых частиц взвеси, – текущий средний размер флокул, - их пористость, - время обработки суспензии, d D p t ϕ – объемная концентрация взвеси, – осредненный градиент скорости среды, G;

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

Из формулы (9) следует, что увеличение размера флокул происходит тем быстрее, чем больше объёмная концентрация суспензии D ϕ и градиент скорости среды (интенсивность гидродинамической обработки).

Поскольку с ростом флокул увеличиваются действующие на них вязкие напряжения, то с некоторого момента начинает проявляться вызываемый ими G 2процесс 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 флокулы со стороны дисперсионной среды. Исходя из простых физических допущений в было показано, что максимальный размер флокул можно оценить по формуле:

$$D_{\text{мах}} = \frac{6U(1-p)^{2/3}}{\pi^2 \eta G d^2} \qquad (10)$$

где: η - динамическая вязкость среды, - парная энергия связи частиц во флокуле.

Из формулы (10) следует, что при данном градиенте скорости среды максимальный размер флокул тем больше, чем меньше их пористость и чем меньше размер исходных частиц . Таким образом, обработка суспензии, содержащей тонкодисперсную фракцию частиц, допускает использование гидродинамической обработки с большими градиентами скорости среды, что, согласно формуле (9), может существенно сократить необходимое время процесса флокуляции. Последнее особенно важно при флокуляции относительно разбавленных суспензий (U G maxD d G ϕ <10-3). В случае же обработки относительно концентрированных суспензий (ϕ >10-2) роль гидродинамической обработки состоит не столько в увеличении скорости образования флокул, 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, ϕ >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 <100 с G -1) потребуется очень большое время, чтобы обеспечить высокое качество флокуляции. При интенсивной же гидродинамической обработке (например, при >3000 с G -1), распределение флокулянта произойдет очень быстро, но, при этом, флокулы, также непрерывно образующиеся в суспензии, испытают многократные акты формирования и разрушения, что, как показано в , существенно снизит качество флокуляции. Как следует из формулы (2), в случае тонкодисперсных суспензий (d <5 мкм) этот эффект должен проявляется в несколько раз слабее, чем в случае грубодисперсных (например, когда d >15 мкм).

Из вышеизложенного можно заключить, что оптимальные параметры гидродинамической обработки суспензий (время и интенсивность) в процессе ультрат G флокуляции должны зависеть от её дисперсного состава и концентрации. Ниже приводятся результаты экспериментального исследования этих зависимостей.

Характеристика применяемые в лаборатории ультрафлокулянтов

Объектами данного исследования служили суспензии кварца с концентрацией от 3 до 50 г/л (10-3 < ϕ < 2·10-2). В качестве дисперсионной среды был использован раствор (0,5 г/л) азотистокислого натрия (NaNO2) в дистиллированной воде. Кварц перед использованием размалывали в шаровой мельнице до необходимой крупности (< 10, или <5 мкм) и затем хранили в виде стоковой суспензии с концентрацией 300 г/л. Распределение частиц по крупности в этих фракциях определяли с помощью седиментационного анализа. Фракция (< 10 мкм) содержала: 26 % (5-10

мкм), 56 % (1-5 мкм) и 18 % (< 1 мкм). Фракция (d < 5 мкм) содержала: 73 % (1-5 мкм) и 27 % (< 1 мкм). Фракцию частиц 5-10 мкм отделяли с помощью седиментационного класификатора и хранили в виде порошка, который перед приготовлением суспензий подвергали ультразвуковому диспергированию на установке УЗДН-2Т.

В качестве флокулянта во всех экспериментах использовался раствор (1 г/л) высокомолекулярного катионного флокулянта «Zetag-64» производства фирмы „Ciba". Все эксперименты осуществлялись с помощью прибора «UltraflocTester-2007» производства фирмы «Turboflotservice», функциональная схема которого представлена. 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 флокул, формирующихся за время обработки суспензии во флокуляторе, в приборе применен метод, впервые предложенный и теоретически обоснованный J. Gregory and D.W. Nelson. В соответствии с этим методом, суспензия, выходящая из флокулятора, сразу же пропускалась через оптоэлектронный датчик, который регистрировал флуктуации интенсивности светового луча, пропускаемого сквозь непрерывный поток суспензии, движущейся в прозрачном круглом канале диаметром 3 мм. 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 флокул. 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.

Изменяя расход флокулянта (при постоянном расходе суспензии), а также скорость вращения ротора флокулятора (и, следовательно, соответствующий ей осредненный градиент скорости среды), можно было определить зависимость эффективности флокуляции (относительного размера флокул) от концентрации флокулянта и интенсивности гидродинамической обработки суспензии (величины G). Изменяя расход суспензии (при пропорциональном изменении расхода флокулянта) определяли также зависимость эффективности флокуляции от времени обработки суспензии во флокуляторе. Следует особо отметить, что использование описанного выше метода позволяет оценить относительный размер флокул сразу же после выхода суспензии из флокулятора и, таким образом, получить достоверные сведения относительно влияния режима гидродинамической обработки на эффективность флокуляции.

Вышедший из прибора обработанный образец суспензии собирался и подвергался дополнительным исследованиям. В частности, исследовались: размер и структура флокул (по макрофотографиям), степень осветления водной фазы, обводненность осадка и его способности к водоотдаче. Оценка степени осветления водной фазы оценивалась по ее оптической плотности, измеренной с помощью фотоэлектрического колориметра «КФК-2» на длине волны 750 нм. При этом проба воды отбиралась на расстоянии 3 см от поверхности суспензии после ее 10-минутного отстоя. Обводненность сфлокулированного осадка определялась после его отделения на сетке (размер ячеек – 0,56 мм) и 5-минутной выдержки с помощью влагомера «ADS-50». Для определения способности осадка к водоотдаче его образцы после обезвоживания на сетке подвергались прессованию под давлением в 6 атм. на тканевом фильтре в течение 1 минуты, после чего с помощью влагомера «ADS-50» определялась остаточная влажность полученных кеков.

Результаты и их обсуждение

Как известно, оптимальный расход флокулянта на единицу массы взвешенного вещества существенно зависит от его дисперсного состава и концентрации и, практически, не зависит от режима гидродинамической обработки [5]. Для того, чтобы вычленить только гидродинамическую составляющую эффекта ультрафлокуляции, все эксперименты проводились при оптимальных расходах флокулянта, значения которых для различных фракций и концентраций представлены в Таблице. Из приведенных данных следует, что фракция, содержащая только мелкие частицы (0-5 мкм) потребляет, примерно в 3 раза больше флокулянта, чем фракция, содержащая только крупные частицы (5-10 мкм). Что же касается фракции, содержащей как мелкие, так и крупные частицы (0-10 мкм), то для них оптимальный расход флокулянта, примерно, такой же, как и для мелкой фракции и слабо зависит от концентрации твердого.

Таблица 6 – Оптимальный расход флокулянта «Zetag-64» (мг/г)

Концентрация твердого, г/л	Фракции		
	0-5 мкм	5-10 мкм	0-10 мкм
3	-	2,0	3,4
10	4,6	1,6	4,0
30	3,0	-	4,0
50	3,0	1,1	-

На рисунке 27 приведены зависимости эффективности флокуляции (ЭФ) суспензии, содержащей только мелкие частицы (0-5 мкм), от градиента скорости среды при различных временах гидродинамической обработки во ультрафлокуляторе (3, 6 и 12 секунд) и различных концентрациях твердой фазы. Из представленных данных следует, что с уменьшением времени обработки максимальное значение ЭФ достигается при более высоких

значениях градиента скорости, что вполне согласуется с уравнением (1). Интересно отметить, что при малой концентрации твердого, ЭФ очень слабо зависит от градиента скорости в области его больших значений (рисунок 2). С увеличением же концентрации суспензии картина существенно меняется и в области больших значений градиента скорости среды наблюдается значительный спад ЭФ, особенно для большого времени гидродинамической обработки во флокуляторе (рисунок 3,4). Последнее, как показано в [2], объясняется тем, что при высоких концентрациях суспензии флокулы максимального размера образуются очень быстро и, если время обработки слишком велико, то они испытывают многократные акты формирования и дробления. В результате, в суспензии накапливается большое количество относительно мелких флокулярных фрагментов (осколков), которые уже не способны к объединению в большие компактные флокулы. Исходя из данных, представленных на рисунке 2-4, можно заключить, что в случае обработки тонкодисперсных суспензий (0-5 мкм) оптимальное время обработки составляет, примерно, 6 секунд, а оптимальный градиент скорости среды, примерно, 2500 с -1.

На рисунке 5-7 представлены аналогичные зависимости ЭФ от, полученные для суспензии, содержащей только относительно крупные частицы (5-10 мкм). Как видим, в этом случае имеет место ярко выраженный экстремальный характер кривых, максимум которых находится вблизи значения с G 1000≈G -1, причем с увеличением времени гидродинамической обработки значение максимума ЭФ увеличивается, а его положение смещается в область малых . Следует особо отметить, что с увеличением концентрации суспензии зависимость ЭФ от времени гидродинамической обработки существенно усиливается. Такое поведение грубодисперсной фракции можно объяснить тем, что, согласно формуле (2), крупные частицы образуют более мелкие флокулы, чем мелкие частицы, при одинаковых значениях градиента скорости среды , и сильнее подвержены дроблению при его увеличении. Что же касается усиления зависимости ЭФ от времени гидродинамической обработки с увеличением концентрации суспензии, то это, скорее всего, связано с процессом распределения флокулянта по объёму суспензии. С увеличением концентрации суспензии равномерное распределение флокулянта затрудняется и требует больше времени. Если это время все же мало, то, согласно уравнению (1), процесс можно ускорить за счет увеличения градиента скорости среды G. К сожалению, в случае крупных частиц, увеличение приводит к усилению эффекта дробления флокул и соответствующему снижению ЭФ. В результате, при уменьшении времени гидродинамической обработки максимум значения ЭФ смещается в область больших значений, но при этом он становится существенно меньше. Исходя из представленных на рисунке 5-7 данных можно заключить, что при флокуляции грубодисперсных суспензий очень важно правильно подобрать соотношение между временем гидродинамической обработки и градиентом

скорости среды. В отличие от тонкодисперсных, грубодисперсные суспензии следует обрабатывать при значительно меньших градиентах скорости среды (500-1000 с G G G G -1), но в течение более длительного времени (10-15 с).

3.2.3 Гидродинамическая обработка водной суспензии кварцы в процессе ее ультра – флокуляции дисперсного состава и концентрации

Наконец, на рисунке 8-10 приведены зависимости ЭФ от , полученные для суспензий кварца, содержащих как мелкие, так и крупные фракции в их естественном соотношении, т.е.: (0-5 мкм):(5-10 мкм) = 74:26. Из представленных данных следует, что при малых концентрациях нефракционированная суспензия ведет себя примерно так же, как и суспензия, содержащая только тонкодисперсную фракцию. При увеличении же концентрации твердого, нефракционированная суспензия оказывается более устойчивой к эффектам дробления при больших значениях, чем тонкодисперсная суспензия. Последнее можно объяснить тем, что наличие в суспензии как мелких, так и крупных частиц позволяет сформировать более плотно упакованные и, следовательно, более прочные флокулы. G G Данные, приведенные на рисунке 27, по-существу отражают изменения среднего размера флокул при изменении гидродинамического режима ультра-флокуляции. В качестве иллюстрации на рисунке 11 и 12 приведены фотографии флокул, сформированных в результате гидродинамической обработки относительно концентрированных суспензий (30 г/л) в течение 6 секунд при различных градиентах скорости среды. На рисунке 11а видно, что при недостаточно больших значениях градиентах скорости среды (G= 1250 с G -1), флокулы имеют нитеподобный характер, а в воде остается большое количество мелких не связанных между собой фрагментов. Это можно объяснить тем, что при таком значении, флокулянт не успевает за 6 секунд равномерно распределиться во всем объёме суспензии и на поверхности частиц, чтобы обеспечить высокое качество флокуляции. По мере увеличения интенсивности гидродинамической обработки (Рис. 11b, G= 2900 с G -1) флокулы становятся более округлые и компактные, а концентрация мелких, не связанных флокул существенно уменьшается. Дальнейшее увеличение приводит к уменьшению максимального размера флокул и появлению большого количества мелких осколков, образующихся при многократном формировании и дроблении больших флокул (рисунке.\ 11c, = 4500 с G G -1). Наконец, при очень больших значениях градиента скорости среды (Рис. 11d, = 9600 с G -1) размер флокул существенно уменьшается, но они становятся очень плотными. При этом количество мелких осколков относительно невелико.

Для сравнения, на рисунке 23 представлены фотографии флокул, сформированных в процессе ультрафлокулярной обработки суспензии,

содержащей только крупные частицы (510 мкм). Легко убедиться, что в отсутствие тонкодисперсной фракции суспензия оказывается существенно более чувствительна к изменениям градиента скорости среды, чем суспензия, содержащая все фракции частиц в естественном соотношении.

Для иллюстрации положительного эффекта, который оказывает ультра-флокулярная обработка на процесс осветления водной фазы в вертикальном сгустителе, на рисунке 13 представлена зависимость ее светопропускающей способности от градиента скорости среды. Как видно из представленных графиков, наилучшие результаты достигаются при значениях G>2500 с G -1. Следует особо отметить, что, как видно на рисунке 13, ультрафлокулярная обработка при больших градиентах скорости среды (G>3000 с-1) дает более высокое качество осветления для более концентрированных суспензий. Последнее можно объяснить тем, что в более концентрированных суспензиях даже самые мелкие флокулы достаточно плотны и компактны, что обеспечивает им высокую скорость седиментации.

Для иллюстрации положительного эффекта, который оказывает ультра-флокулярная обработка на удельный объём осадка и его водоотдачу при прессовании, на Рисунке 21 представлены зависимости влажности осадка сфлокулированной суспензии после его выдежки на сетке в течение 5 минут и после последующего прессования на тканевом фильтре в течение 1 минуты под давлением в 6 атм. Из приведенных зависимостей видно, что минимальное значение влажности осадка до прессования достигается при значении градиента скорости среды , равном, примерно 3000 с G -1, а минимальное влагосодержание пресс-кека (примерно, 31 %) достигается при значении =2000 с G -1.

На основании представленных выше результатов исследования можно заключить нижеследующее:

1. Оптимальные параметры режима гидродинамической обработки суспензии в процессе ее ультра-флокуляции в значительной степени зависят от концентрации суспензии и ее дисперсного состава.

2. С увеличением дисперсности суспензии прочность формируемых в ней флокул увеличивается, благодаря чему суспензия может обрабатываться в более неоднородных гидродинамических полях (>2000 с G -1) в течение более короткого времени (t< 6 с).

3. При уменьшении дисперсности суспензии оптимальный режим гидродинамической обработки определяется параметрами: 500< <1000 с G -1; > 10 с. t

4. Зависимость влажности сфлокулированного осадка после фильтрования на сетке от градиента скорости среды имеет экстремальный характер с минимумом в области значения ≈ 3000 сG -1.

5. Зависимость влажности кека после фильтрования осадка на сетке и на тканевом прессфильтре от градиента скорости среды имеет экстремальный характер с минимумом в области значения G≈ 2000 с-1.

6. Качество осветления воды после седиментации суспензии, подвергнутой ультрафлокуляции, достигает высокого значения при использовании гидродинамической обработки, обеспечивающей градиент скорости среды >2000 с G -1.

7. При увеличении концентрации суспензии важную роль играют факторы, отвечающие за равномерное распределение молекул флокулянта по объему суспензии, что влечет необходимость в увеличении интенсивности (величины) или времени гидродинамической обработки суспензии.

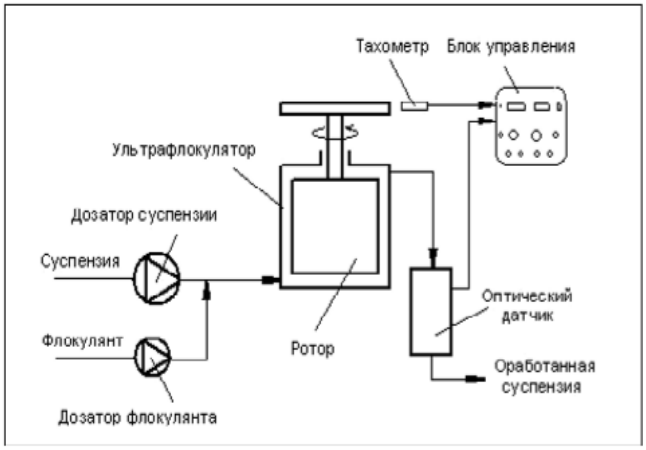
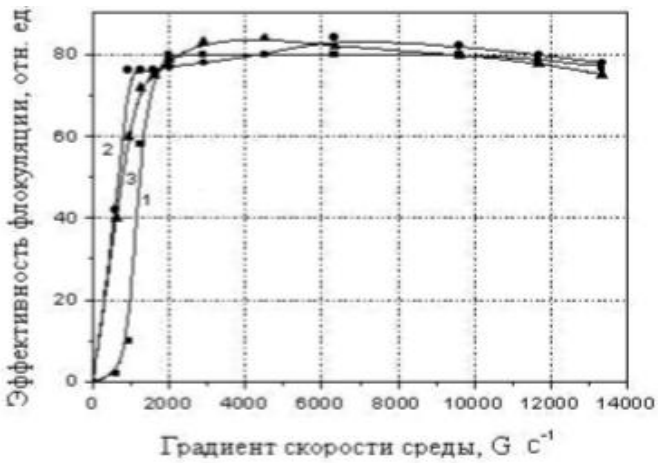
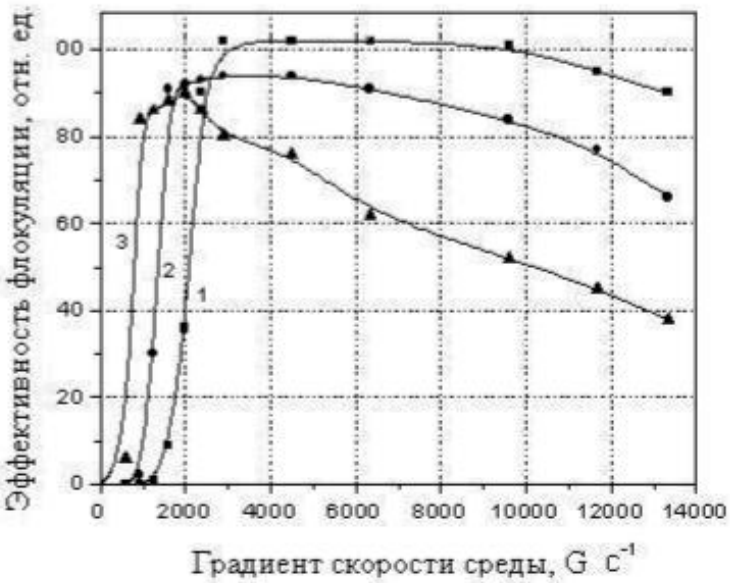


Рисунок 23 - Функциональная схема прибора для изучения процесса ультра-флокуляции «УльтраФлок-Тестер-2007»



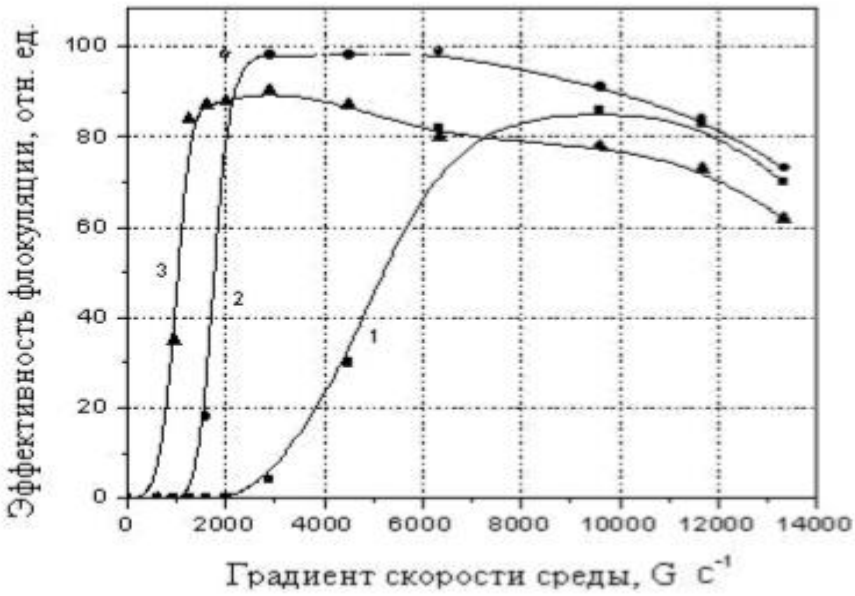
размер частиц – (0-5 мкм); концентрация кварца - 10 г/л; расход флокулянта - 4,6 мг/г; длительность гидродинамической обработки, сек: 3 (1), 6 (2) и 12 (3)

Рисунок 24 - Зависимость эффективности флокуляции суспензии кварца в воде от интенсивности гидродинамической обработки (градиента скорости среды).



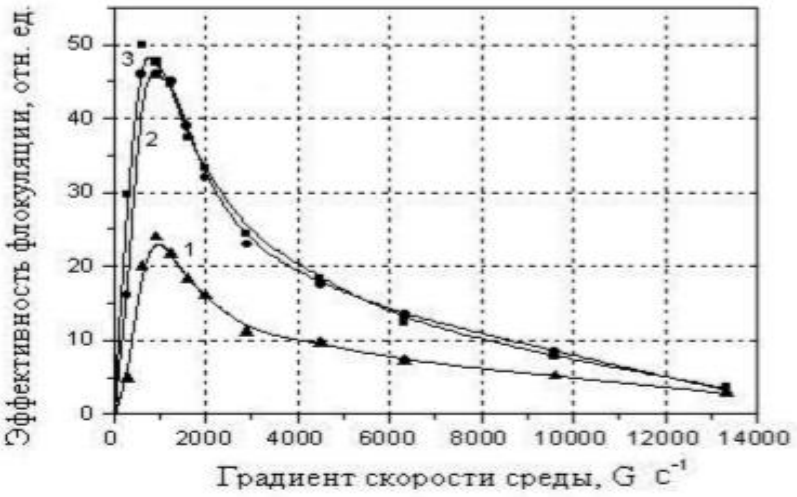
размер частиц – (0-5 мкм); концентрация кварца - 30 г/л; расход флокулянта - 3,0 мг/г; длительность гидродинамической обработки, сек: 3 (1), 6 (2) и 12 (3).

Рисунок 25 - Зависимость эффективности флокуляции суспензии кварца в воде от интенсивности гидродинамической обработки (градиента скорости среды).



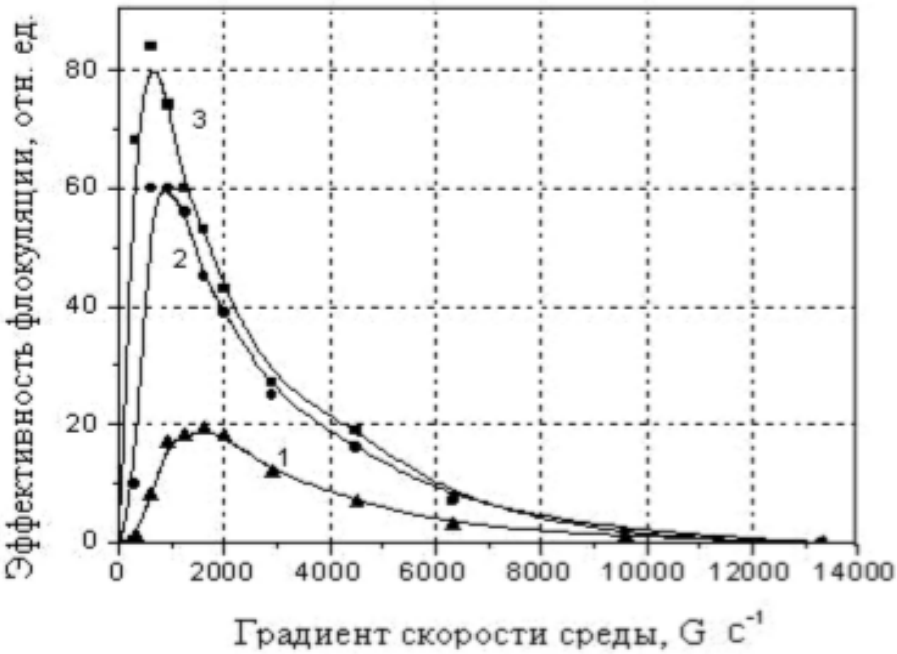
размер частиц – (0-5 мкм); концентрация кварца - 50 г/л; расход флокулянта - 3,0 мг/г; длительность гидродинамической обработки, сек: 3 (1), 6 (2) и 12 (3)

Рисунок 26 - Зависимость эффективности флокуляции суспензии кварца в воде от интенсивности гидродинамической обработки (градиента скорости среды).



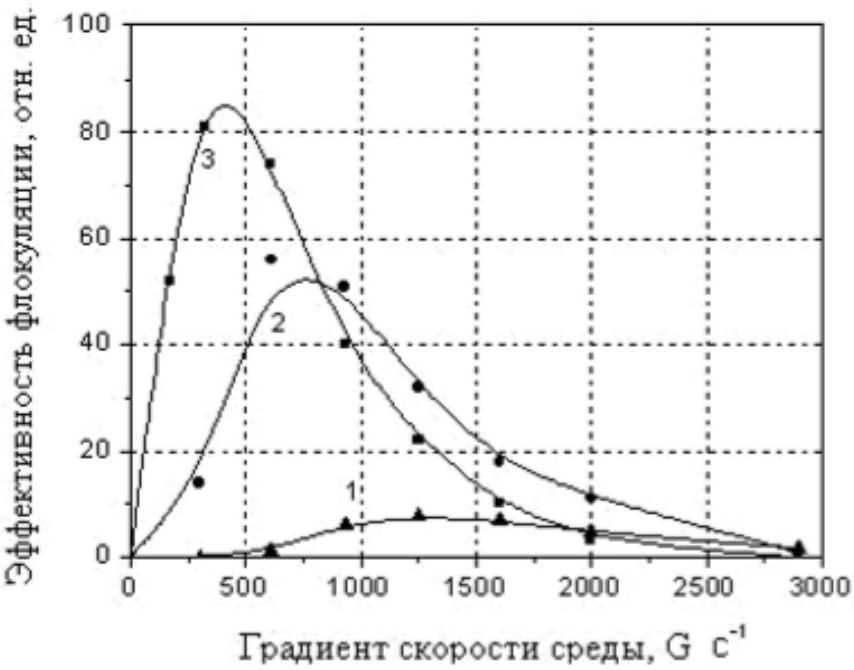
размер частиц – (5-10 мкм); концентрация кварца - 3 г/л; расход флокулянта - 2,0 мг/г; длительность гидродинамической обработки, сек: 3 (1), 6 (2) и 12 (3).

Рисунок 27 - Зависимость эффективности флокуляции суспензии кварца в воде от интенсивности гидродинамической обработки (градиента скорости среды).



размер частиц – (5-10 мкм); концентрация кварца - 10 г/л; расход флокулянта - 1,6 мг/г; длительность гидродинамической обработки, сек: 3 (1), 6 (2) и 12 (3)

Рисунок 28 - Зависимость эффективности флокуляции суспензии кварца в воде от интенсивности гидродинамической обработки (градиента скорости среды).

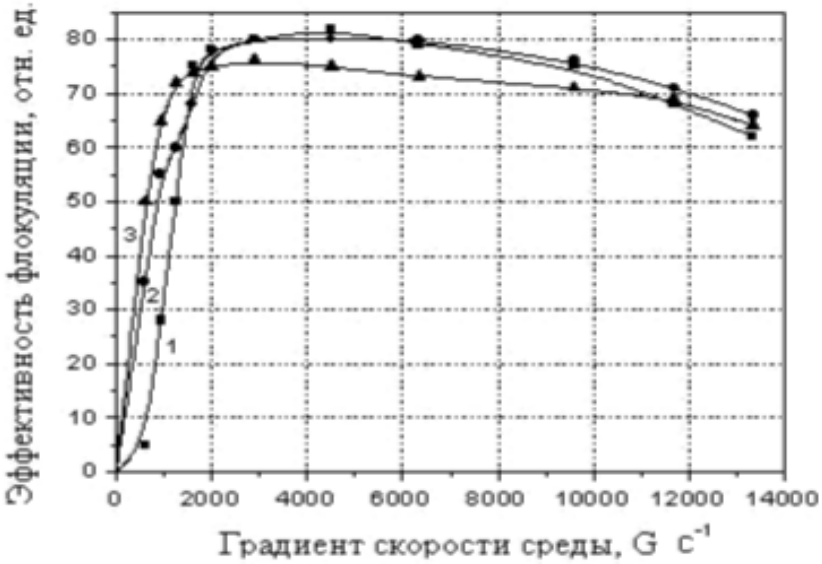


размер частиц – (5-10 мкм); концентрация кварца - 50 г/л; расход флокулянта - 1,1 мг/г; длительность гидродинамической обработки, сек: 3 (1), 6 (2) и 12 (3).

Рисунок 29 - Зависимость эффективности флокуляции суспензии кварца в воде от интенсивности гидродинамической обработки (градиента скорости среды).

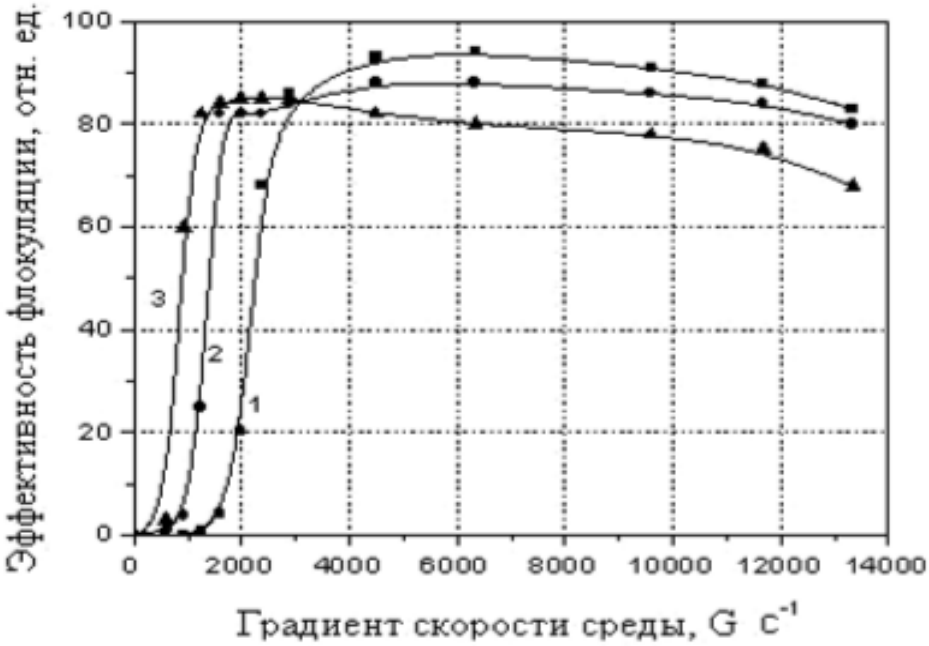
размер частиц – (0-10 мкм); концентрация кварца - 3 г/л; расход флокулянта - 3,4 мг/г; длительность гидродинамической обработки, сек: 3 (1), 6 (2) и 12 (3).

Рисунок 30 - Зависимость эффективности флокуляции суспензии кварца в воде от интенсивности гидродинамической обработки (градиента скорости среды).



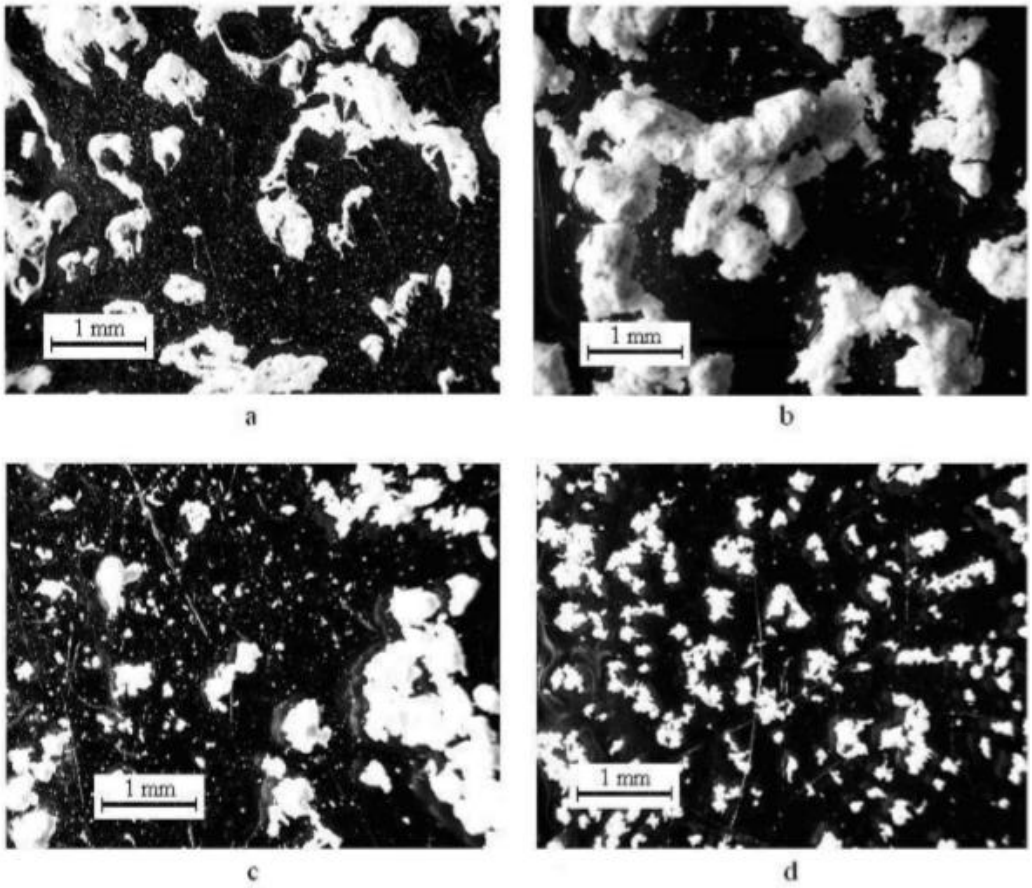
размер частиц – (0-10 мкм); концентрация кварца - 10 г/л; расход флокулянта - 4,0 мг/г; длительность гидродинамической обработки, сек: 3 (1), 6 (2) и 12 (3)

Рисунок 31- Зависимость эффективности флокуляции суспензии кварца в воде от интенсивности гидродинамической обработки (градиента скорости среды).



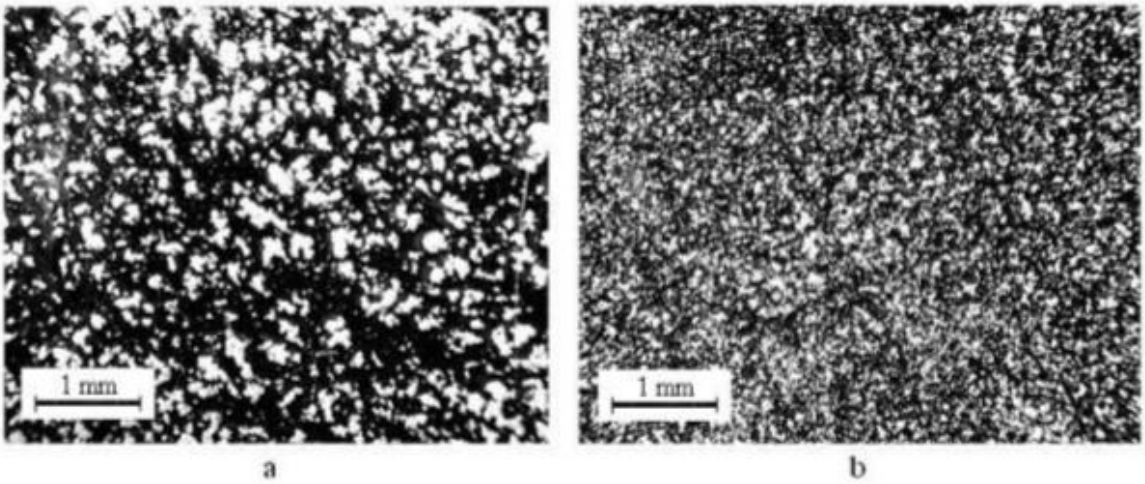
размер частиц – (0-10 мкм); концентрация кварца - 30 г/л; расход флокулянта - 4,0 мг/г; длительность гидродинамической обработки, сек: 3 (1), 6 (2) и 12 (3)

Рисунок 32 - Зависимость эффективности флокуляции суспензии кварца в воде от интенсивности гидродинамической обработки (градиента скорости среды).



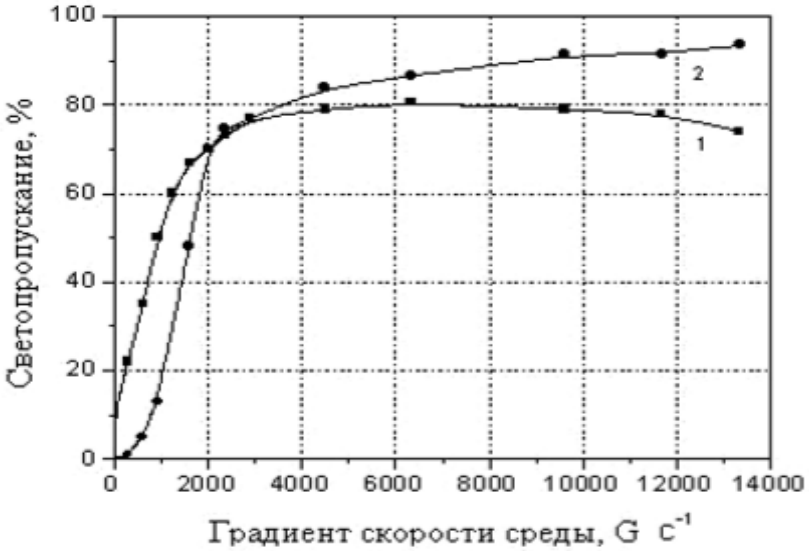
сформированные в процессе гидродинамической обработки (6 секунд) суспензии (концентрация - 30 г/л, дисперсный состав – 0-10 мкм) при различных градиентах скорости среды G, с-1: 1250 (a); 2900 (b); 4500 (c); 9600 (d)

Рисунок 33 - Флокулы из частиц кварца



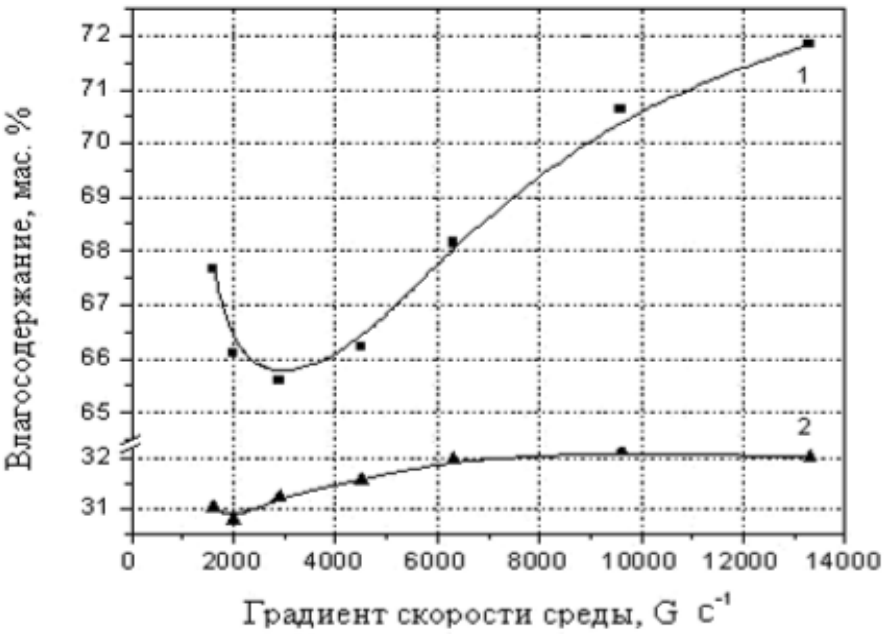
сформированные в процессе гидродинамической обработки (6 секунд) суспензии (концентрация - 30 г/л, дисперсный состав – 5-10 мкм) при различных градиентах скорости среды 1

Рисунок 34 - Флокулы из частиц кварца.



дисперсный состав – (0-10 мкм); время обработки 6 с; время осаждения - 10 мин; глубина отбора пробы 3 см; концентрация кварца, г/л: 3(1), 30(2)

Рисунок 35 - Зависимость светопропускающей способности водной фазы после осаждения сфлокулированной суспензии от интенсивности ее гидродинамической обработки (градиента скорости среды).



на тканевом фильтре в течение 1 мин. (2) от интенсивности гидродинамической обработки (градиента скорости среды G) суспензии (0-10 мкм, 30 г/л) в процессе ультра-флокуляции (время обработки - 6 с)

Рисунок 36 - Зависимость влажности осадка после отделения на сетке (1) и после прессования под давлением в 6 атм.

3.2.4 Флокуляция в процессах водоочистки

Флокуляция является одним из наиболее распространенных технологических процессов, без которого немыслима сепарация больших объёмов 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. Не исключение составляет и флотация. Как следует из (11), эффективность захвата частиц всплывающим пузырьком 2 /3 pdE, т.е. увеличивая размер флотируемых объектов за счет их объединения в агрегаты путем флокуляции, можно существенно повысить скорость процесса, что повсеместно используется на практике. Парная энергия связи частиц и прочность флокул. Как следует из теории ортокинетической 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. С другой стороны, очевидно, что с ростом градиента скорости среды повышаются действующие на флокулы вязкие напряжения, стремящиеся их разорвать на более мелкие фрагменты В было показано, что максимальный размер флокул $[d_f]_{max}$ Fd определяется силой сцепления (или парной энергией связи) частиц во флокуле и осредненным градиентом скорости среды. При этом, согласно, справедливо выражение.

$$[d_F]_{max} = \frac{6U(1-p)^{2/3}}{\pi^2 G\eta d_p^2}, \qquad (11)$$

где dp – 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, можно утверждать, что ортокинетическая 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 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 флокуле. Однако прямое измерение этих величин очень затруднительно и имеет ограниченные возможности по типу флокулируемых частиц. Кроме того, такие эксперименты обычно проводят в 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.

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 рисунке 8 представлена зависимость парной энергии связи частиц (стеклянных шариков диаметром 3,1 мкм) от концентрации флокулянта (Zetag-64), измеренная в работе . 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 флокуле

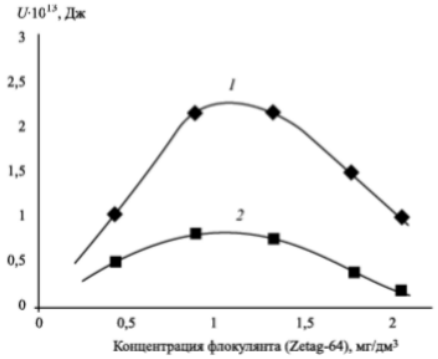


Рисунок 37 - Зависимости парной энергии связи (U) (1) во флокуле и относительной эффективности процесса флокуляции (2) от концентрации флокулянта (Zetag-64). Концентрация твердого вещества в суспензии – 200 мг/д.

3.3 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. 9 представлены статические флокуляторы (или статические миксеры) различных типов [27]. 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 флокуляторов (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.

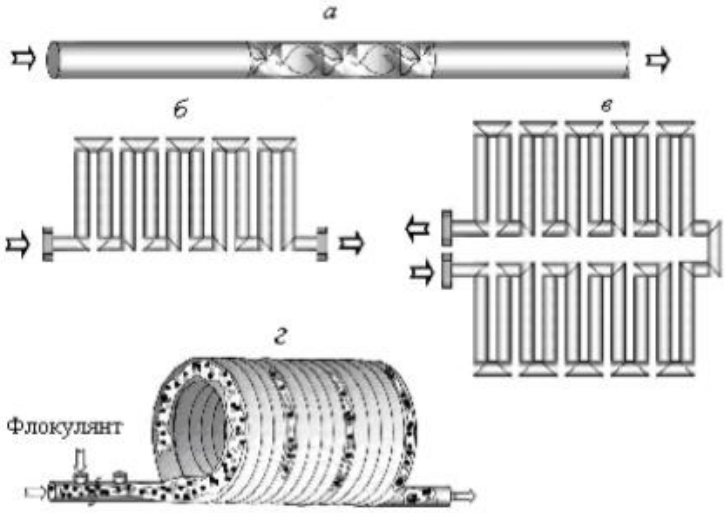
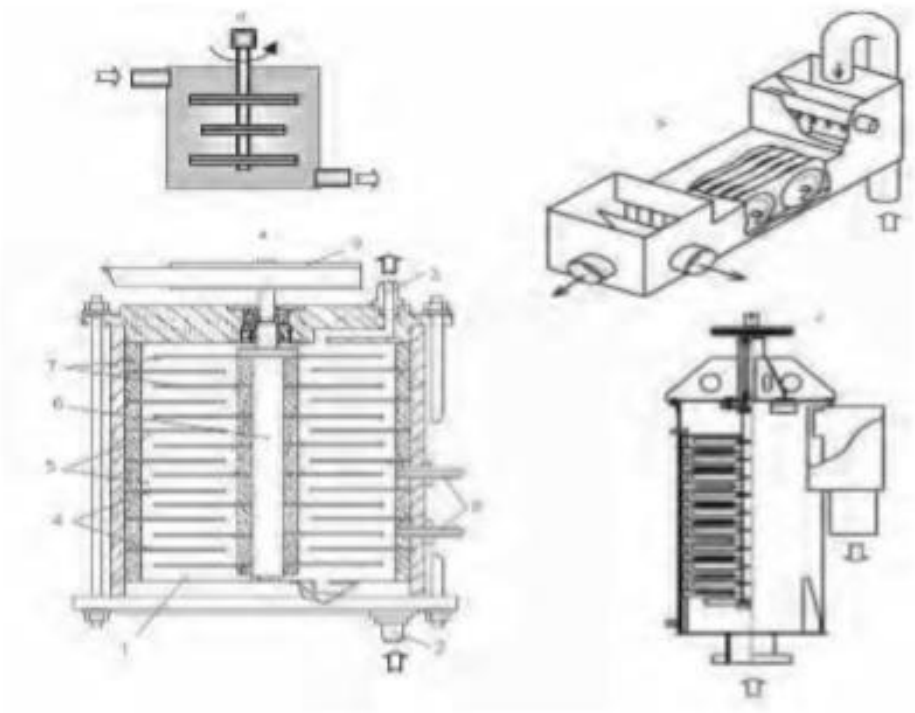


Рисунок 38 - Статические флокуляторы

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. 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 (рисунке 34, 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.



а – обычная мешалка, б – горизонтальный дисковый флокулятор; в – многокамерный верти-кальный дисковый флокулятор; г – вертикальный игольчато-дисковый флокулятор

Рисунок 39 - Динамические миксеры.

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 был предложен многокамерный дисковый флокулятор (рис.3), 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-охлаждаюших водомасляных эмульсий (рис. 40).

Рисунок 40 - Установка для флокулярно-микрофлотационной сепарации отработанных смазочно-охлаждаюших водомасляных эмульсий

Для обработки больших количеств суспензии более целесообразно использование горизонтального дискового флокулятора, показанного на рисунке 4, б. Такие флокуляторы предполагается использовать, например, для обработки хвостов углеобогащения с расходом до 1200 м3/ч. Фирмой "Турбофлотсервис" для обработки больших количеств относительно концентрированной (до 200 г/дм3) суспензии разработан игольчато-дисковый флокулятор (см. рис. 4, г). Промышленный образец такого флокулятора, нашедший применение на углеобогатительных фабриках Украины и России, показан на рисунке 5. 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 флокулянтом суспензии значительно быстрее седиментируют, а осадок обладает более высокой плотностью и легче обезвоживается прессованием или центрифугированием, так как гидравлическое сопротивление его кека в процессе уплотнения растет значительно медленнее, чем у суспензий, обработанных коагулянтом.

Рисунок 41 - Игольчато-дисковый флокулятор для обработки концентрированных суспензи

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 объёме обрабатываемой суспензии и, следовательно, на поверхности частиц. В случае разбавленных суспензий (< 1 г/дм3) проблемы флокулярной обработки усугубляются еще и тем, что существенно снижается частота столкновений флокулируемых частиц, а это приводит к значительному увеличению времени, необходимого для завершения процесса флокуляции. Преодоление вышеописанных трудностей использования флокулянтов, как впервые было показано может быть достигнуто путём применения специальной гидродинамической обработки суспензии в процессе введения флокулянта и сразу после него.

Такая обработка, получившая название ультрафлокуляции , позволяет не только быстро и равномерно распределить молекулы флокулянта по

объёму суспензии, но и создать благоприятные условия для ускоренного формирования плотноупакованных и прочных флокул. При этом практически все частицы оказываются в связанном состоянии, что существенно облегчает дальнейшее обезвоживание осадка. В работе на примере тонкодисперсных разбавленных (<1 г/дм3) 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 2500 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), удается 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.

3.4 Флокулярная флотация в процессах водоочистки

Из приведенных сведений следует, что наиболее перспективным направлением развития флотационной технологии очистки воды от лиофильных тонкодисперсных загрязняющих веществ является сочетание флокуляции и флотации. При этом можно выделить два основных варианта: последовательный процесс, когда сначала частицы укрупняются за счет флокуляции, а затем подвергаются флотации, и параллельный процесс, когда флокуляция и флотация осуществляются практически одновременно.

Последовательный процесс. Последовательное использование флокуляции и флотации целесообразно в тех случаях, когда объемная концентрация взвеси невелика и размер образующихся в процессе флокуляции агрегатов (флокул) намного меньше размеров пузырьков газа. Простейший вариант для последовательной флокулярной флотации показан на рисунке 38, из которого видно, что обрабатываемая жидкость сначала пропускается через камеру флокуляции, где она смешивается с раствором флокулянта и перемешивается с целью агрегирования исходных частиц во флокулы. Затем вода, содержащая уже сфлокулированные частицы, поступает в камеру аэрации, где методом сатурации и дросселирования создаются микропузырьки газа.

В процессе совместного движения пузырьки и флокулы образуют флотоагрегаты, отделяемые от воды седиментацией. Хотя установки такого типа достаточно хорошо очищают воду, все же их производительность очень мала, что обусловлено низкой концентрацией пузырьков, которую можно создать при напорной флотации, а также очень малой скоростью всплывания пузырьков, полученных методом сатурации/дросселирования. Применение же относительно крупных, быстро всплывающих пузырьков (например,

получаемых пневматическим способом с использованием пористого диспергатора) не дает желаемого эффекта, так как, согласно, при этом существенно снижается эффективность захвата ими частиц взвеси.

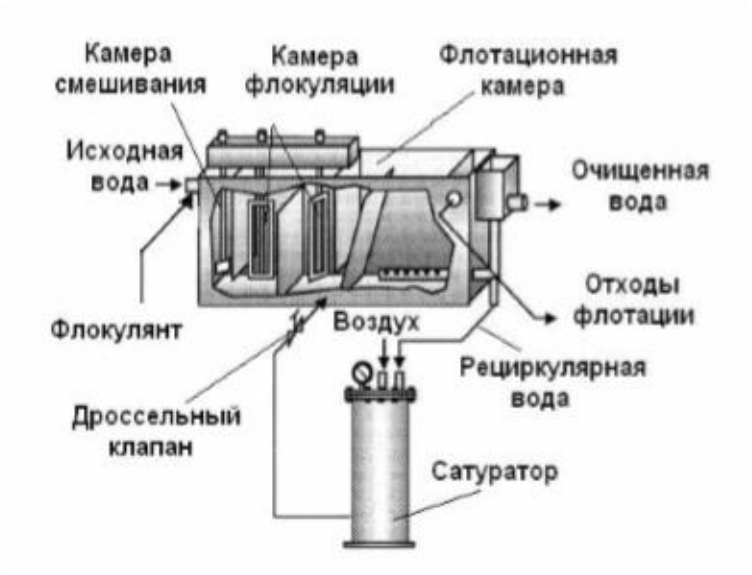
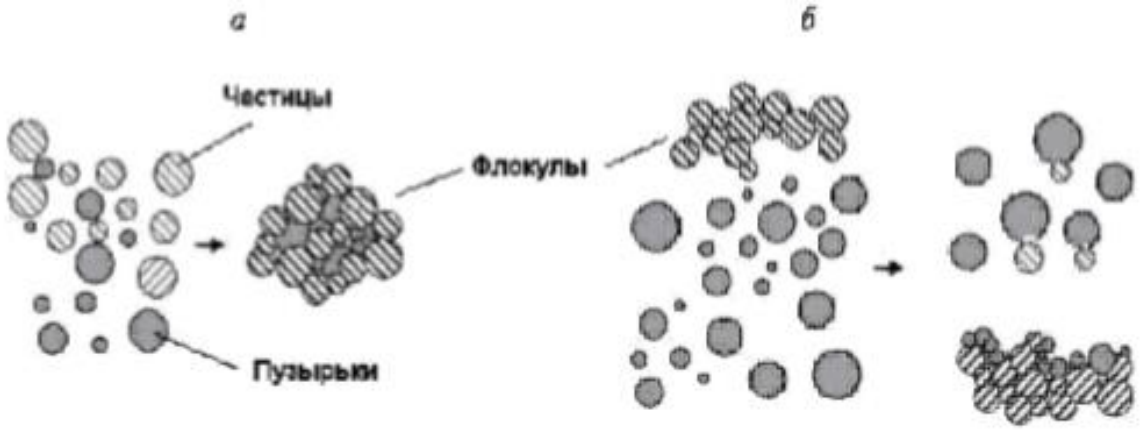


Рисунок 42 - Установка для флокулярной флотации

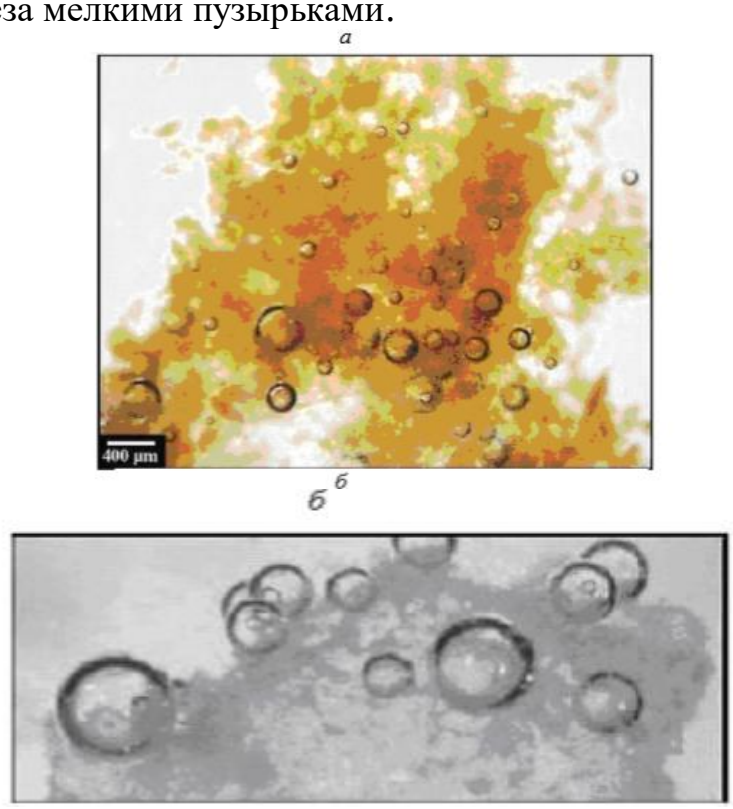
Параллельный процесс. Флокулярная флотация, при которой процесс агрегирования частиц во флокулы и налипание их (частиц и флокул) на пузырьки осуществляют одновременно, дает наиболее высокие результаты, но только в случае, когда объемная концентрация взвеси настолько велика, что образующиеся при этом флокулы намного больше пузырьков и в состоянии заключить их внутри себя. Иногда, когда концентрация взвеси невелика, для создания таких условий в обрабатываемую суспензию добавляют тонкодисперсный материал, который может образовывать с извлекаемыми частицами загрязняющих веществ смешанные агрегаты и совместно флотироваться. Обычно такими добавками (так называемыми замутнителями) служат гидроксиды многовалентных металлов или глинистые материалы, также являющиеся хорошими сорбентами растворимых органических загрязняющих веществ. Использование параллельной флокулярной флотации с применением сорбентов получило название сорбционной флокулярной флотации. Поскольку при флокулярной флотации образуются относительно большие флокулы, то можно было бы ожидать, что в этом случае вполне применимы относительно крупные пузырьки. К сожалению, это не так. Как показано в [31], прочность связей частиц в агрегатах обычно намного меньше, чем отрывная подъёмная сила, действующая на пузырьки. В результате крупные, обладающие высоким гидродинамическим сопротивлением агрегаты будут отрываться от больших пузырьков, а последние будут уносить в пену лишь малые фрагменты флокул или всего лишь отдельные частицы .



а – параллельная; б – последовательная

Рисунок 43- Флокулярная флотация концентрированной суспензии.

На рисунке 44 показаны микрофотографии флотоагрегаов, полученных в процессе параллельной (а) и последовательной (б) флокулярной флотации гидроксида железа мелкими пузырьками.



образующиеся в процессе параллельной (а) и последовательной (б) флокулярной флотации гидроксида железа мелкими пузырьками

Рисунок 44 – Флотоагрегаты.

3.5 Турбулентная микрофлотация

Всестороннее развитие представлений о механизмах, управляющих элементарным актом флотации, а также процессами агрегирования (флокуляции, коагуляции) флотируемых частиц и гетероагрегирования частиц и пузырьков, послужило толчком в открытии нового направления в развитии высокоэффективной флотации мелких частиц, получившей название турбулентной микрофлотации.

Основополагающие принципы. Впервые основные принципы турбулентной микрофлотации были изложены в применительно к эмульсионной флотации. Позднее теория турбулентной микрофлотации была развита в работах, в которых она также получила экспериментальное подтверждение. Как следует из вышеизложенного, эффективное извлечение из воды тонкодисперсных лиофильных частиц возможно только при использовании (очень мелких) пузырьков и создания условий для их (частиц и пузырьков) совместного или последовательного агрегирования. Исходя из этих соображений была предложена принципиально новая концепция флотации тонкодисперсных частиц, согласно которой стадия введения в пульпу микропузырьков отделена от стадии сепарации флотоагрегатов как во времени, так и в пространстве. Такое разделение осуществляется с помощью длинного трубчатого статического миксера, в котором за счет турбулентной гидродинамической обработки происходит как налипание флотируемых частиц на пузырьки, так и укрупнение последних до требуемых размеров для быстрого их отделения от воды седиментацией. На рисунке 44 представлена схема флотационной установки, с помощью которой может осуществляться турбулентная микрофлотация (ТМФ) тонкодисперсных частиц.

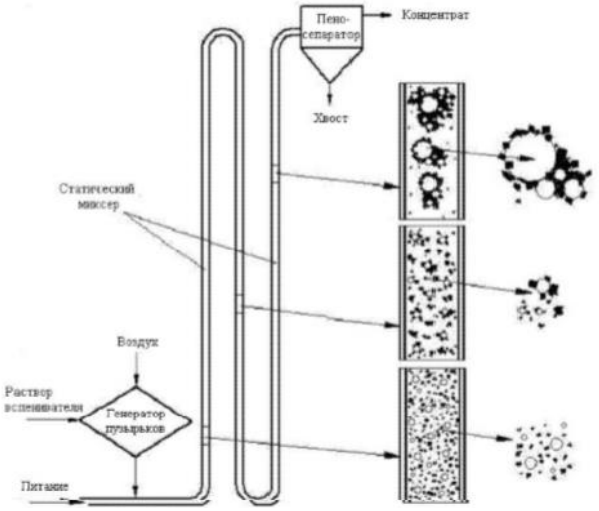


Рисунок 45 - Схема установки для турбулентной микрофлотации

Как видно из данного рисунка, ТМФ-установка состоит из выполненного в виде трубопровода статического миксера, в котором осуществляется турбулентная гидродинамическая обработка суспензии и

микропузырьков, поступающих в нее из генератора пузырьков в виде концентрированной газоводяной эмульсии. Выход трубчатого статического миксера соединен с пеноотделителем, в котором происходит седиментационное отделение флотоконцентрата от воды.

Предварительные расчеты показали, что при оптимальном подборе типа и концентрации вспенивателя время, необходимое для турбулентной обработки (при флотации частиц класса – 15 мкм), составит 0,5 – 2 мин. При этом может быть достигнуто извлечение, составляющее 85 – 95%. Особо следует отметить, что поскольку микропузырьки обладают эффективностью захвата ультратонких частиц на несколько порядков более высокой, чем пузырьки в обычных флотомашинах, расход газа на единицу объема воды при турбулентной микрофлотации уменьшается на порядок по сравнению с обычной флотацией. Это позволяет, в принципе, использовать любые методы получения микропузырьков, включая электролитический.

Турбулентная микрофлотация разбавленных суспензий. В случае, когда объёмная концентрация частиц в воде очень мала, как, например, при подготовке питьевой воды, процесс агрегирования частиц загрязняющих веществ в трубчатом статическом миксере будет идти очень медленно и практически не сможет существенно улучшить качество флотационной очистки воды. В этом случае предпочтительно, чтобы в общую схему, показанную на рисунке 16, был включен ультрафлокулятор, который бы обеспечивал максимальное объединение (за короткое время) всех частиц в агрегаты еще до подачи в суспензию микропузырьков и начала турбулентной обработки в статическом миксере. На рисунке 48 показана функциональная схема установки, которая была использована, для изучения турбулентной флокулярной микрофлотации различных тонкодисперсных сорбентов, применяемых для очистки воды от органических загрязняющих веществ, тяжелых металлов и радионуклидов. Как видно из рисунка, установка состояла из трех последовательно соединенных блоков, в которых осуществляли ультрафлокуляцию; осветление и удаление в накопитель основной части сорбента, а также турбулентную микрофлотацию оставшейся в воде после первых двух этапов взвеси сорбента. В процессе эксперимента обрабатываемую суспензию и раствор флокулянта с помощью перистальтических насосов 1 и 2 подавали непосредственно в проточный ультрафлокулятор 3, в качестве которого использовали цилиндрический флокулятор Куэтта (пара коаксиальных цилиндров), диаметр и высота ротора которого составляли 30, а ширина зазора – 1,5 мм.

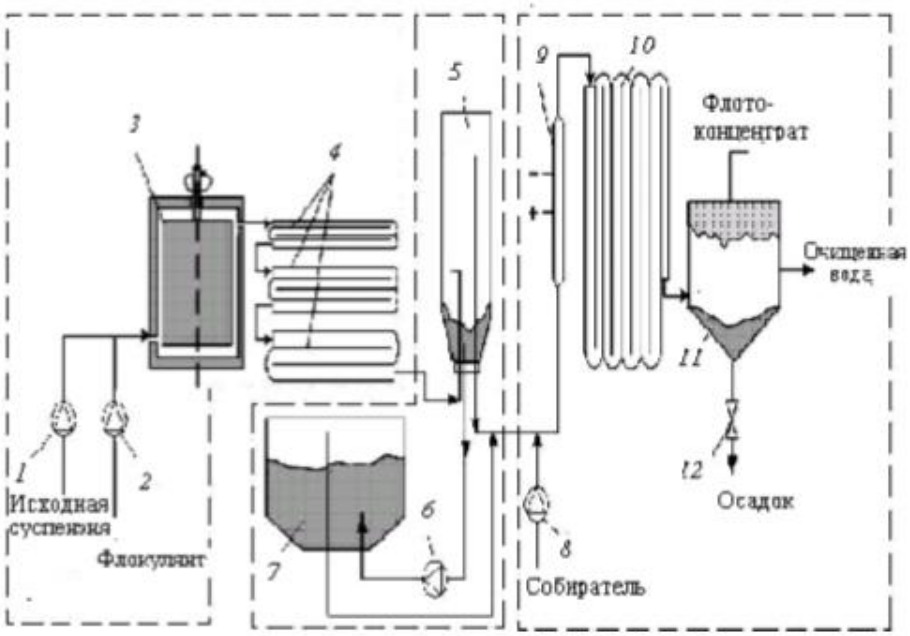
В ультрафлокуляторе 3 происходила жесткая первичная обработка смеси, в результате которой молекулы флокулянта быстро и равномерно распределялись по всему объему суспензии и на поверхности частиц, а также формировались плотные первичные флокулы. Скорость вращения ротора подбирали так, чтобы осредненный градиент скорости среды G0 находился в диапазоне от 2000 до 4000 с-1, что соответствовало оптимальному режиму

обработки. При этом продолжительность обработки в ультрафлокуляторе составляла всего одну секунду. С выхода ультрафлокулятора суспензия поступала в последовательно соединенные статические миксеры 4, где формировались вторичные флокулы. Миксеры 4 представляли собой горизонтально расположенные ПХВ-трубки. Диаметр и длину трубок подбирали таким образом, чтобы средние значения градиентов скорости жидкости в них и соответствующие времена обработки наилучшим образом соответствовали идеальному режиму ультрафлокуляции .

С выхода последнего статического миксера суспензия поступала в герметичный вертикальный осветлитель 5 диаметром 8 см и объемом 2 дм3, где происходило отделение основной массы сфлокулированного сорбента, а осветленная вода и оставшиеся в ней наиболее мелкие флокулы направлялись на дальнейшую очистку турбулентной микрофлотацией. Для поддержания непрерывности процесса в течение достаточно длительного времени в общую схему был введен также герметичный накопитель осадка 7 объемом 2 дм3, куда с помощью перистальтического насоса 6 перекачивалась часть отделенного в осветлителе 5 осадка, что позволяло предотвращать быстрое переполнение осветлителя. С выхода осветлителя 5 и накопителя 7 существенно освободившаяся от сорбента вода поступала в систему микрофлотационной очистки, состоявшей из последовательно соединенных: проточного электролизера с нерастворимыми электродами 9 (источника микропузырьков), трубчатого вертикального статического миксера 10 и пеноотделителя 11.

Для обеспечения прилипания флокул сорбента к микропузырькам и придания последним достаточной устойчивости по отношению к коалесценции на вход электролизера 9 с помощью дозатора 8 подавали собиратель (этоний-С10). Объемную концентрацию пузырьков, вводимых в суспензию путем электролитического разложения воды на кислород и водород, регулировали (в диапазоне 1 – 5%) путем изменения тока, пропускаемого через электролизер. После насыщения очищаемой воды микропузырьками обрабатываемую смесь подавали в вертикальный статический миксер 10 (выполнен в виде ПХВ-трубки длиной 6 – 20 м и внутренним диаметром 4 мм), в котором происходило прилипание флокул сорбента к микропузырькам и агрегирование последних в крупные флотоагрегаты, легко отделяемые от воды седиментацией в проточном пеноотделителе 11.

В качестве пеноотделителя использовали наклоненную под углом 12° к горизонтали широкую стеклянную трубу с внутренним диаметром 6 и длиной 30 см, вблизи верхнего конца которой был выполнен специальный выход для флотоконцентрата, при помощи которого осуществляли окончательное отделение сорбента от воды. Продолжительность гидродинамической обработки в статическом миксере 10 меняли путем изменения его длины в диапазоне от 15 до 60 с.



1 – дозатор исходной суспензии; 2 – дозатор флокулянта; 3 – ультрафлокулятор; 4 – статические миксеры; 5 – осветлитель; 6 – насос для отвода осадка; 7 – накопитель осадка; 8 – дозатор собирателя (этоний-С8); 9 – электро-лизер; 10 – статический миксер; 11 – пеноотделитель; 12 – кран для отвода осадка

Рисунок 46 - Схема экспериментальной установки для изучения процесса флокулярной микрофлотации [37].

В результате выполненных в исследований было установлено:

– ультрафлокуляция в комбинации с турбулентной микрофлотацией представляет собой высокоэффективный метод извлечения из воды наиболее распространенных тонкодисперсных сорбентов, используемых для очистки воды от органических загрязняющих веществ, тяжелых металлов и радионуклидов;

– Использование вышеописанных методов в системах сорбционной очистки промышленных сточных вод и подготовки питьевой воды позволяет уменьшить продолжительность обработки (повысить производительность процесса) как минимум в 4 раза, т.е. от 25 – 50 до 7 – 8 мин. – последовательное применение ультрафлокуляции и микрофлотации дает возможность достичь остаточной концентрации сорбента порядка 3 – 10 мг/дм3 и существенно (в 3 – 4 раза) уменьшить количество влажных отходов в процессах водоочистки тонкодисперсными сорбентами, а следовательно, и стоимость их последующей обработки и/или утилизации.

Турбулентная микрофлотация концентрированных суспензий. В исследовали также флокулярную турбулентную микрофлотацию относительно концентрированных тонкодисперсных суспензий. Было установлено, что в этом случае между блоками ультрафлокуляции и турбулентной микрофлотации целесообразно располагать, как показано на

рис.17, блок быстрой седиментации, позволяющий отделять значительную долю сфлокулированной взвеси. Такой прием способствует существенному снижению нагрузки на микрофлотацию и достижению высоких результатов как по производительности, так и по степени извлечения примесей.

На основании проанализированных данных можно заключить, что флокуляция и флотация, несомненно, представляют собой эффективные методы сепарации суспензий и очистки воды

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 Оптимальные параметры режима гидродинамической обработки суспензии в процессе ее ультрафлокуляции в значительной степени зависят от концентрации суспензии и ее дисперсного состава. С увеличением дисперсности суспензии прочность формируемых в ней флокул увеличивается, благодаря чему суспензия может обрабатываться в более неоднородных гидродинамических полях (G > 2000 $с^{-1}$) в течение более короткого времени (t < 6 с).

2 При уменьшении дисперсности суспензии оптимальный режим гидродинамической обработки определяется параметрами: 500 < G <1000 $с^{-1}$; t > 10 с. Зависимость влажности сфлокулированного осадка после фильтрования на сетке от градиента скорости среды имеет экстремальный характер с минимумом в области значения $G \approx 3000$ $с^{-1}$.

3 Зависимость влажности кека после фильтрования осадка на сетке и на тканевом пресс-фильтре от градиента скорости среды имеет экстремальный характер с минимумом в области значения $G \approx 2000$ $с^{-1}$. Качество осветления воды после седиментации суспензии, подвергнутой ультрафлокуляции, достигает высокого значения при использовании гидродинамической обработки, обеспечивающей градиент скорости среды G > 2000 $с^{-1}$.

4 При увеличении концентрации суспензии важную роль играют факторы, отвечающие за равномерное распределение молекул флокулянта по объему суспензии, что влечет необходимость в увеличении интенсивности (величины) или времени гидродинамической обработки суспензии.

5 Наиболее эффективным, универсальным и практичным (из рассмотренных) флокулянтов, предназначенных для обработки техногенных суспензий, образующихся на горизонтальных сгустителях. При расходе флокулянта «AN 945» в диапазоне 65-85 г/т (в зависимости от типа суспензии: илы, отходы или шламы) достигается скорость осаждения флокул в сгустителе - более 2 м/ч.

6 В качестве приемлемой альтернативы могут быть также использованы флокулянты фирмы «Сиба»: Magnafloc-525 и Magnafloc-5250, которые действуют несколько слабее, чем AN-945, но зато их растворы на 20-30% менее вязкие, чем раствор AN-945. Последнее позволяет использовать в 1,2-1,3 раза более концентрированные маточные растворы флокулянтов, что существенно снижает размеры станции их приготовления.

7 Использование ультрафлокулярной обработки в течение 5 сек с интенсивностью 1000 - 2000 $с^{-1}$ позволяет: снизить расход флокулянта на 25-30 %; работать с относительно концентрированными маточными растворами флокулянта (1-1,5 г/л) и использовать их без предварительного разбавления; уменьшить размеры станции приготовления растворов флокулянта в 1,5-2 раза; существенно увеличить (в 1,5-2 раза) пропускную способность

сгустителей; снизить остаточное содержание твердого в сливе сгустителя до уровня - менее 30 мг/л.

8 Тестирование серию флокулянтов фирмы Kemira с помощью нового прибора "УльтрафлокТестер" при сгущении отвальных хвостов флотации Жезказганской обогатительной фабрики показало, что наиболее эффективным оказался анионный флокулянт марки «А-150». Установлено, что при его расходе 90 г/т достигается наибольший флокулирующий эффект. При этом, оптимальное значение гидродинамической обработки находится в диапазоне: 900-1100 $с^{-1}$, а время полного осветления суспензии анионным флокулянтом составил 25 секунд.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 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.

2 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.

3 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.

4 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.

5 Rulyov N.N., Dontsova T. A., Korolyov V. Ja. Ultra-flocculation of diluted fine disperse suspensions, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, Volume 26, Number 3-4 / July-September 2005.-P. 203 – 217.

6 Баран А.А. Полимерсодержащие дисперсные системы. Киев, Наукова думка, 1986. 244 с.

7 Барань Ш., Грегори Д. Флокуляция суспензий каолина катионными полиэлектролитами.Коллоид.журн., 1996. Т.58, № 1. -С.13-18.

8 Walles E.W. Role of floculant molecular weight in the coagulation of suspensions.-J. Colloid and Inter. Sci., 1968. V.27. № 2, - P.797-803.

9 Соломенцева И.М., Баран А.А., Посторонко А.И., Куриленко О.Д. Изучение устойчивости суспензии карбонатного шлама в присутствии добавок полиэтиленоксидов. Укр. хим. ж., 1973. Т.39. №7. -С.785-789.

10 Баран А.А., Васько Я.Я., Дерягин Б.В., Кудрявцева Н.М., Куриленко О.Д. Флокуляция гидрозоля золота добавками полиэтиленоксидов. - Коллоид. ж., 1976. Т.38. №1.- С.8-15.

11 Кройт Г.Р. Наука о коллоидах.М.ИЛ: 1955. 540 с.

12 Соломенцева И.М., Баран А.А., Шамкин В.В., Еременко Б.В., Еремова Ю.Я. Изучение кинетики и механизма флокуляции золя оксида железа анионными полиэлектролитами. Химия и технология воды., 1980. Т.2. № 4. -С.333-336.

13 La Mer V.K. Filtration of Colloidal dispersions flocculated by anionic and cationic polyelectrolytes.-Disc. Farad. Soc., 1966. № 42. -P.248-254.

14 Соломенцева И.М., Тесленко А.Я. Исследование флокуляции клеток E.coli латекса полистирола катионными флокулянтами. Химия и технология воды, 1983. № 6. -С.459-462.

15 Яремко З.М., Успенская И.Г. Кинетика стабилизации и флокуляции дисперсий полиэлектролитами. Укр. хим. ж., 1983. Т.49, №7. -С.698-700.

16 Баран А.А., Кочерга И.И., Соломенцева И.М. Изучение адсорбции полиэтиленоксида коллоидными частицами йодистого серебра. Коллоид.журн., 1977. Т.39. № 1. -С.9-15.

17 Липатов Ю.С., Сергеева Л.М. Адсорбция полимеров. Киев: Наукова Думка, 1972. 196 с.

18 Баран А.А., Кочерга И.И. Кинетика адсорбции полиэтиленоксида частицами угольных и глинистых суспензий. Коллоид.журн., 1990. Т.52, № 3. -С.419-424.

19 Никологорская Е.Н., Касаикин В.А., Чураев Н.В. Влияние адсорбции полиэтиленоксида на броуновскую подвижность частиц и устойчивость гидрозолей кремнезема. Коллоид.журн. 1990, Т.52, № 4. -С.615-619.

20 Заворохина Н.А., Качанская К.А. О действии гидролизованного ПАА на глинистые суспензии. Коллоид.журн., 1967, Т.29. № 4. -С.797-802.

21 Кочерга И.И., Баран А.А., Куриленко О.Д. О влиянии размера частиц кремнезема на устойчивость его суспензии, содержащих добавки полиэтиоеноксидов. Докл.АН СССР, 1975 сер.5, № 5. -С.438-447.

22Дерягин Б.В., Кудрявцева Н.М., Маликова И.Я. Изучение стабилизирующего действия поверхностно-активных веществ на гидрозоль золота. Докл.АН СССР, 1974. 216. № 6. -С.1319-1322.

23 Еременко Б.В., Малышева М.Л. и др. Устойчивость водных суспензий наноразмерных частиц оксида алюминия в водных растворах электролитов. Коллоид.журн., 1996. Т.58, № 4. -С.458-465.

24 Еременко Б.В., Малышева М.Л. и др. Устойчивость смешанных водных суспензий нитрид кремния-оксид алюминия. Коллоид. журн., 1998,Т.60. № 4. -С.460-466.

25 Кабыш Г.М., Глазман Ю.М. Устойчивость гидрозоля йодистого серебра в присутствии алкиловых эфиров полиэтиленгликоля. Коллоид.журн., 1969. Т.40. № 1. -С.27-32

26 Семенихин Н.М. Определение ξ - потенциала по электрофоретической подвижности твердых сферических частиц с учетом поляризации двойного слоя // Коллоидн. журн. -1976. Т.38. №1. -С.74-78.

27 Айлер Р.К. Химия кремнезема М.: Мир,1982. 712 с.

28 Неппер А./Стабилизация коллоидных дисперсий полимерами. М.: Мир, 1986.-487с.

29 Шабанова Н.А., Силос И.В. Флокуляция щелочных гидрозолей кремнезема гидролизованным полиакриламидом // Коллоидн. журн. -1991. Т.53. № 2. -С. 305-310.

30Шабанова Н.А., Силос И.В. Флокуляция коллоидного кремнезема водорастворимыми полиэлектролитами // Коллоидн. журн. -1993. Т.55. № 1. -С. 152-157.

31 Ju. X ., Somasundaran P. Role of polymer conformation in interparticle-bridging dominated flocculation // J. Colloid and Interface Sci. 1996. V.177. №2. - P.283-287.

32 Нестеров А.Е. Справочник по физической химии полимеров. Свойства растворов и смесей полимеров. Киев.: Наукова думка,-1984.- 284с.

33 Хамраев С.С., Абдуллаев А.А., Фукс Г.И., Ахмедов К.С. Зависимость флокулирующего и стабилизирующего действия от молекулярных параметров цепи и конформации макромолекул в растворе. // Коллоидн.ж.-1983.Т. 45. № 3. -С.520-526.

34 Бусурманова А.Ч., Тусупбаев Н.К., Мусабеков К.Б., Боранбаев Б.Ж. Влияние полимер-полимерных комплексов на устойчивость полистирольного латекса //Вестник КазГУ, 1998. № 4, сер. хим. -С.64-74.

35 Морару В.Н., . Морару Д.В. Адсорбция полиметакриловой кислоты и ее влияние на устойчивость и электроповерхностные свойства дисперсий графита. 1. Влияние молекулярной массы // Коллоидн.ж.-1998.Т. 60. № 4. -С.512-519.

36 Бектуров Е.А.,Бакауова З.Х. Синтетические водорастворимые полимеры в растворах. Алма-Ата: Наука,1981. – 248с.

37 Морару В.Н., Морару Д.В., Яремко З.М. Адсорбция полиметакриловой кислоты и ее влияние на устойчивость и электроповерхностные свойства дисперсий графита. 2. Влияние фонового электролита // Коллоидн.ж.-1998.Т. 60. № 4. -С.520-526.

38 Морару В.Н., Морару Д.В. Адсорбция полиметакриловой кислоты и ее влияние на устойчивость и электроповерхностные свойства дисперсий графита. 3. Влияние pH среды // Коллоидн.ж.-1998.Т. 60. № 4. -С.527-532.

39 Айнакулова Ж.М., Тусупбаев Н.К., Мусабеков К.Б., Боранбаев Б.Ж. Влияние полиамфолитов и их смесей с водорастворимыми полимерами на устойчивость полистирольного латекса // Вестник КазГУ, 1994. № 1. серия химическая, -С.289-299.

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Магистерская диссертация на тему: „Исследование сгущения и фильтрации продуктов обогащения методом ультрафлокуляции" выполнена самостоятельно, добросовестно и не обладает признаками плагиата.

Допуск к защите

06.07.2020 Барменшинова М.Б.

Дата *Подпись заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения*

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: Ертаев Максат Ардакулы

Название: Исследование сгущения и фильтрации продуктов обогащения методом ультрафлокуляции

Координатор: Несипбай Тусупбаев

Коэффициент подобия 1:2,6

Коэффициент подобия 2:0,9

Замена букв:7

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 признакам 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 цел ограничения заимствований;
☐ обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признакам 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 выполнена добросовестно и не обладает признаками плагиата.

06.07.2020 г

Дата

Барменшинов М.Б.

Подпись заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения