

На правах рукописи



Надршин Владимир Вагизович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ СЛЮД
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАМКНУТОГО ВОДОБОРОТА**

Специальность 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание
учёной степени кандидата технических наук

Иркутск – 2012

Работа выполнена на кафедре «Экономика» в ФГБОУ ВПО
«Иркутский государственный технический университет»

Научный руководитель: **Байборodin Борис Алексеевич**, заслуженный деятель науки России, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики Иркутского государственного технического университета

Официальные оппоненты: **Лапшин Владимир Леонардович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов Иркутского государственного технического университета;

Малова Марина Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии и графики Иркутского государственного университета путей сообщения

Ведущая организация: Восточносибирский научно-исследовательский институт геологии геофизики и минерального сырья г. Иркутск

Защита состоится «24» мая 2012 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д.212.073.02 при ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет» по адресу 664074 г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет», с авторефератом – на официальном сайте ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет» www.istu.edu.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим высылать по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ИрГТУ, ученому секретарю диссертационного совета Д.212.073.02 Салову В.М.
e-mail: salov@istu.edu

Автореферат разослан «20» апреля 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного Совета,
профессор



В.М. Салов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью совершенствования технологии обогащения слюдяного сырья, использования замкнутой схемы водооборота, повышения качества изделий слюдяной промышленности.

Цель диссертационной работы: разработка технологии обогащения слюдяного сырья с применением замкнутой схемы водооборота, разработка математической модели гидродинамики технологических процессов и использование процесса безреагентной комплексной очистки оборотных вод при обогащении слюды.

Задачи исследований:

- анализ технологии обогащения слюдяного сырья, анализ влияние примесей в технологической воде на физические свойства получаемых слюд;
- анализ основных методов и процессов, используемых при подготовке и очистке технологических вод обогатительного производства слюдяного сырья, с учётом особенностей гидродинамики и математических моделей;
- выявление и анализ параметров изучаемых процессов подготовки и очистки технологических вод в обогащении слюды для их оптимизации;
- теоретическое и экспериментальное исследование гидродинамики многофазных сред в процессах подготовки и очистки технологических вод слюдяного производства;
- развитие и совершенствование способов безреагентной комплексной подготовки и очистки оборотных вод используемых в процессе обогащения слюды;
- разработка методов экспресс получения экспериментальных данных для проектирования модулей очистных сооружений слюдяного производства.

Объект исследований: технология обогащения слюды, технологическая вода слюдяного производства, качество продукции.

Предмет исследования: процессы обогащения слюды; качество и загрязнение производственной воды и возможности её безреагентной комплексной очистки.

Научная новизна:

- определено влияние примесей в производственной воде на физические свойства материалов из слюд;
- разработаны математические модели процессов безреагентной комплексной подготовки и очистки водных систем в обогащении слюдяных материалов;
- впервые использованы методы безреагентной обработки и активации водных систем в процессе обогащения слюды;
- впервые обоснована возможность применения методов безреагентной подготовки технологических вод процесса обогащения слюдяного сырья;
- определены отдельные механизмы воздействия на процессы обогащения слюдяных материалов в комплексе с подготовкой технологической воды;
- обоснована возможность применения замкнутого водооборота при обогащении слюдяного сырья.

Достоверность научных положений

Значительный объём статистического материала по изучаемым процессам обогащения слюдяного сырья и очистки технологических оборотных вод, применение современных методов математической обработки результатов исследований и теории планирования эксперимента, сходимость результатов эксперимента с реальными испытаниями.

Методы исследования. Для решения перечисленных задач использовались методы лабораторного и промышленного конструирования испытываемого оборудования, методы математического моделирования исследуемых процессов, методы определения

удельного объёмного и поверхностного электросопротивления, электрической прочности, тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости, плотности и предела прочности при статическом изгибе, физико-химические, химические методы, фотокolorиметрия, атомно-абсорбционная спектрофотометрия, рН-метрия, стандартные методики определения качества технических вод, методы планирования эксперимента, статистические методы обработки ДТА. Результаты экспериментов обрабатывались с использованием современных компьютерных технологий.

Практическая значимость работы:

- предложена схема замкнутого водооборота в технологии обогащения слюды;
- предложены алгоритмы расчёта и конструирования основного технологического оборудования и оптимальных параметров исследуемых процессов;
- предложена технология совместного и комплексного использования процессов обогащения слюдяных материалов и безреагентной подготовки водных смесей;
- предложены способ и устройства безреагентной подготовки технической воды обогащительного производства слюды;
- на основе разработанной технологической схемы спроектирована и изготовлена заводом НПО «ЭНРОФ» опытно-экспериментальная установка, акт изготовления представлен в приложении;
- предложенная технология позволяет повысить технические показатели готовой продукции, что подтверждено заключением фабрики;
- технология комплексной безреагентной очистки производственных вод принята к внедрению на ООО «Нижнеудинская слюдянитовая фабрика»;

Реализация результатов работы

Усовершенствована технология обогащения слюдяного сырья ООО «Нижнеудинская слюдянитовая фабрика» с обеспечением замкнутого водооборота и комплексности вывода примесей безреагентным нехимическим путём. На основе результатов исследований, расчётов и экспериментов разработана технологическая схема обогащения и безреагентной подготовки и комплексной очистки вод для повышения качества продукции предприятия. Результаты работы приняты к внедрению. Подана заявка на получения патента по способу безреагентной очистки и устройству для его осуществления.

Научные положения, выносимые на защиту:

- эффекты взаимодействия процессов безреагентной обработки и активации водных смесей, используемых в замкнутом водообороте и системы газ-жидкость в энергетических полях разной физической природы;
- математические модели распределения скоростей в потоках;
- математические модели: потоков водных и газожидкостных систем в рабочих объёмах используемого оборудования;

Апробация работы. Теоретические и экспериментальные разделы диссертации, результаты производственного испытания и внедрения научных разработок обсуждались и одобрены на конференциях и семинарах, в том числе на: 2-й Международной конференции «Забайкалье на пути к устойчивому развитию: экология, ресурсы, управление», Чита, 2001; научно-практической конференции «Современные угрозы человечеству и обеспечение безопасности жизнедеятельности», Иркутск, 2003; Всероссийской школе-семинаре молодых ученых и Общероссийской научно-практической конференции «Современные методы переработки минерального сырья», Иркутск, 2004; научно-практической конференции «Технико-экономические проблемы развития регионов», Иркутск, 2005; научно-практической конференции, посвященной 75-летию ИрГТУ «Перспективы развития технологии, экологии и автоматизации химических, пищевых и

металлургических производств», Иркутск, 2005; II Всероссийской школе-семинаре молодых учёных, Иркутск, 2006; научно-практической и учебно-методической конференции «Безопасность жизнедеятельности», Москва, 2006; 15-я Международная научно-практическая конференция «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири», Томск, 2009; VII Международная научно-практическая конференция «Динамика научных исследований 2011» Республика Польша 2011 г.

Публикации: по результатам выполненных исследований опубликовано 16 научных работ, в том числе 6 статей в изданиях рекомендованных ВАК, 4 монографии, подана заявка получение патента на изобретение способа и разработанного устройства.

Структура и объём диссертационной работы: диссертационная работа содержит 199 страниц основного текста, 70 рисунков, 45 таблиц. Работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 216 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, определены объект и предмет, цель и задачи исследования, раскрываются основные элементы новизны, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе даётся анализ сырьевой базы слюдяных месторождений и использования слюды. Ценные технические свойства слюды издавна привлекали внимание людей к этому минералу. В настоящее время слюду широко используют в различных отраслях промышленности и в первую очередь в электротехнической и электрохимической промышленности. Наибольшее применение в современной технике получили две разновидности слюды: флогопит и мусковит. Но, кроме этих разновидностей, в промышленности используют вермикулит, лепидолит и биотит.

Наряду с тем, что слюда (мусковит и флогопит) является одним из лучших диэлектриков, она обладает и такими свойствами, которых нет у других диэлектриков – высокая электрическая прочность, нагревостойкость, химическая стойкость, влагостойкость, механическая прочность и гибкость.

Изучен состав и свойства основных минеральных ресурсов и слюдяного сырья, используемых технологиями ООО «Нижнеудинской слюдянитовой фабрики» (табл. 1-2).

Таблица 1. Химический состав слюдяных концентратов

Тип сырья	Химическое содержание, в %											
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	F	K ₂ O	Na ₂ O	H ₂ O	ппп
Месторождение Слюдянское												
Флогопит	40,56	0,62	14,31	2,85	2,44	4,26	18,88	1,20	5,77	0,59	0,08	4,56
Порода	46,68	0,41	12,67	2,49	1,61	15,33	13,65	0,27	1,74	1,53	н.о.	1,24
Месторождение Алданское												
Флогопит	33,64	0,86	9,95	2,71	3,31	1,50	15,60	0,20	3,20	0,42	0,09	23,73
Порода	46,42	0,45	8,25	1,95	1,56	12,50	7,47	0,02	1,25	0,95	н.о.	18,98

Таблица 2. Химический состав стекла 203

SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	CaF ₂	ZnO	BaO	Na ₂ O	K ₂ O
20,5	4,0	23,1	8,2	10,0	14,0	8,0	12,2

Во второй главе изучена и проанализирована технология обработки слюдяного сырья, измельчения слюды, приготовления слюдяной пульпы, производства основной продукции – слюдобумаг и слюдопластов (рис. 1).

Рассмотрено влияние показателей технологической воды на качество выпускаемой

продукции. Сохранение заданной прочности в слюдопластовой бумаге требует тщательного соблюдения технологии и режимов производства. Нестабильность прочности слюдопластов также существенно возрастает от постепенного загрязнения воды. Это особенно проявляется на стадиях расщепления слюды и при слоеобразовании. Если расщепление слюды на прокатном станке производить в воде сильно загрязненной мельчайшими твердыми частицами, то независимо от чистоты воды на всех последующих технологических операциях прочность слюдобумаг снизится на 20 - 50 %. Это объясняется тем, что на новые поверхности, образующиеся при расщеплении кристаллов, из загрязненной воды прочно осаждаются мельчайшие твердые частицы, которые на всех последующих операциях уже невозможно снять (отмыть). Если же расщепление слюды происходит в чистой воде, то на свежих поверхностях образуются защитные пленки воды, которые препятствуют ее контакту с твердыми мелкими частицами, находящимися в воде.

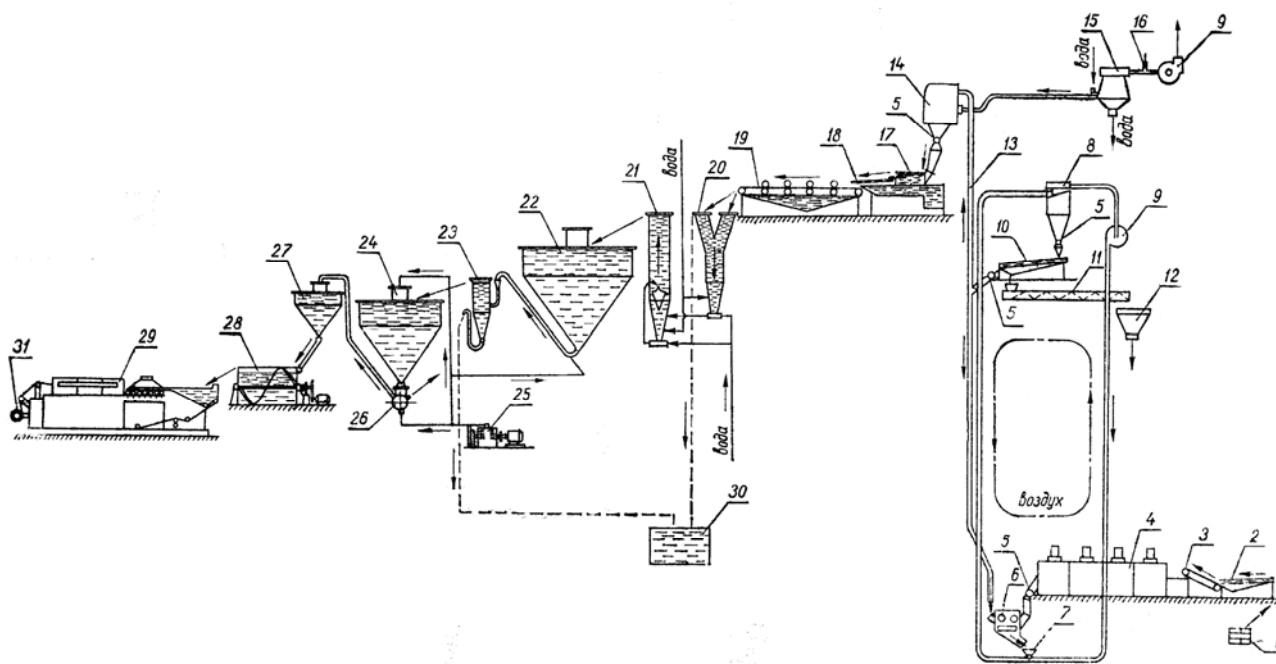


Рис. 1. Технологическая схема производства слюдопласта на Нижнеудинской фабрике:

1-скрап, 2-грохот, 3-питатель, 4-контейнерная электропечь, 5-шлюзовой разгрузатель, 6-ударная машина, 7-инжекторная воронка, 8-циклон, 9-вентилятор, 10-грохот, 11-шнек, 12-бункер для отходов скрапа, 13-шахта сортирующая, 14-осадитель, 15-циклон промыватель, 16-заслонка, 17-моечная машина, 18-вибротранспортёр, 19-многовалковый прокатный станок, 20,21-дезинтерграторы, первой и второй ступеней, 22-сгуститель, 23-классификатор, 24-сгуститель-накопитель, 25-компрессор, 26-баробатер, 27-накопитель пульпы, 28-раздатчик пульпы, 29-машина рулонного слюдопласта, 30-отстойник, 31-рулон готовой продукции

В процессе сушки слюдопластовой бумаги основная масса пленочной воды удаляется, и слюдяные чешуйки слипаются друг с другом, в основном через адсорбционные слои воды.

Граничные плёнки воды также существенно влияют на диэлектрические свойства бумаг, увеличивая их электрическую прочность и повышая до 600 °С температуру наступления теплового пробоя.

При соприкосновении таких гидратированных поверхностей двух пластинок слюды на достаточно малом расстоянии между ними возникают мостики водородных свя-

зей. Силы водородных связей, играют одну из главных ролей во взаимодействии частиц в бумагах и, в конечном итоге, определяют их механические свойства.

Фактором, мешающим возникновению мостиков водородной связи является наличие растворенных в воде примесных ионов, которые, нейтрализуя заряды поверхности, будут уменьшать количество водородных мостиков сцепления.

Поэтому, для увеличения прочности бумаг процесс диспергирования слюды и образования пульпы необходимо производить в воде, лишенной растворенных солей. Наличие загрязнений адсорбирующимися ионами, органическими веществами и биониками уменьшает сцепление частиц в бумаге и может даже привести к полной потере сил связи.

Как показали исследования, наличие примесей оказывают значительное влияние на свойства материалов из слюд.

Изучены источники загрязнения технологической воды. Химический состав слюдяных концентратов, используемого сырья (стекла), применяемых при производстве микалекса приведены в табл. 1-2.

Химический состав воды, поступающей на «Нижеудинскую слюдянитовую фабрику» представлен в табл. 3.

Таблица 3. Химический состав воды, поступающей на «Нижеудинскую слюдянитовую фабрику»

Наименование показателей	Ед.измерен.	Норма	Среднегодовое
Мутность	мг/дм ³	20	1,28
Жёсткость общая	мг.экв/дм ³	7,0	2,00
Сухой остаток	мг/дм ³	1000	121
Хлориды	мг/дм ³	350	3,38
Сульфаты	мг/дм ³	500	7,05
Аммиак	мг/дм ³	-	0,51
Нитраты	мг/дм ³	45	0,26
Нитриты	мг/дм ³	-	0,04
Окисляемость по O ₂	мг/дм ³	7,0	0,29
Фтор	мг/дм ³	1,5	0,25
Марганец	мг/дм ³	0,1	0,10
Щёлочность	мг.экв/дм ³	-	1,58
Железо	мг.экв/дм ³	1,0	0,08
рН	-	6,5-8,5	7,91
Углекислота свободная	мг/дм ³	-	17,0
ПАВ	мг/дм ³	-	0,16
Взвешенные вещества	мг/дм ³	-	4,37

При этом технологические воды ООО «Нижеудинской слюдянитовой фабрики» характеризуются анализом, представленным в табл. 4.

Таблица 4. Химический анализ технологических вод ООО «Нижеудинская слюдянитовая фабрика» до очистки, г. Нижеудинск

Параметры	Исходные стоки	Параметры	Исходные стоки
рН	3,6–4,8	Окисляемость, мг.О ₂ /л	1792
Окраска	Светло-бурая	Нефтепродукты, мг/л	97,6
Прозрачность, см.	Отсутств.	Хлориды, мг/л	928,7
Взвеш. вещества, мг/л	8625	Азот аммонийный, мг/л	386,0
Кислорода, мг/л	Отсутств.	Фосфаты, мг/л	623,4
БПК ₅ , мгО ₂ /л	7298	ХПК, мг.О ₂ /л	14838

Изучены механизм и процессы загрязнения технологической воды. Рассмотрены существующие методы, процессы и условия очистки производственных вод данного предприятия.

Третья глава посвящена изучению целесообразности применения основных методов подготовки и очистки производственных вод слюдяного производства.

Выполнен анализ современных и перспективных способов очистки производственных вод. Выполнены исследования по применимости этих способов к подготовке и очистке технологических вод ООО «Нижнеудинская слюдянитовая фабрика». Развита и усовершенствована методы подготовки и очистки воды: механические; физические; физико-химические; химические; биохимические. (биологические). Развита теоретические основы и намечены перспективы реализации физико-химических методов подготовки и очистки вод.

Физико-химическая очистка вод считается одним из основных существующих методов их очистки и обезвреживания. Для интенсивной очистки вод от взвешенных веществ применяют коагуляцию совместно с обработкой воды флокулянтами. Для извлечения ценных веществ, присутствующих в воде в диссоциированном состоянии, и при обессоливании воды с невысокой минерализацией используют ионообменные фильтры. К остальным физико-химическим методам очистки вод относятся флотация, экстракция, сорбция, методы электрохимической очистки, электродиализ, гиперфльтрация, и др.

Методы электрообработки получают развитие как эффективные и прогрессивные направления в технологии очистки воды. Установки по реализации этих методов компактны, высокопроизводительны, подчиняются полной автоматизации, при этом не повышается солевой состав очищенной воды. Это обеспечивает существенные преимущества электрохимических методов перед традиционными методами обработки воды.

Основную роль в процессе электрофлотации частиц выполняют пузырьки газа, выделяющиеся с поверхности катода. Для обеспечения эффективности протекания процессов электрофлотации выполнен определённый объём теоретических и экспериментальных изыскания, а также объём конструкторских разработок поиска оптимальных решений конструкций электрофлотационных машин. При электрофлотационном разделении жидких неоднородных систем существует зависимость: скорость флотации повышается с увеличением газовых пузырьков данного размера в единице объёма воды. Для обеспечения этого предложены математические модели и выполнены экспериментальные проработки нахождения оптимальных режимных, электродинамических и гидравлических условий протекания процесса. При этом разработаны основные принципиальные схемы электрофлотационных аппаратов. Немалую помощь оказывают работе электрофлотомашин применение различных видов и методов активации исходных жидких систем и одновременной обработке электрическим полем.

Четвёртая глава посвящена совершенствованию технологии обогащения слюдяного сырья на основе использования замкнутого водооборота, развитию и совершенствованию перспективных методов и технологических схем подготовки и очистки вод, а именно исследованиям и развитию безреагентных методов очистки технологических вод обогатительного слюдяного производства как экологически чистых технологий комплексной обработки жидких систем; изучению и развитию теоретических основ и перспектив совершенствования физико-химических методов подготовки и очистки вод; развитию теории и расширению возможностей методов электрохимической очистки технологических вод; развитию и совершенствованию электрофлотационного метода очистки водных систем; разработке и совершенствованию способа безреагентной ком-

плексной очистки оборотных вод слюдяного производства и устройства для его осуществления.

Разработаны и усовершенствованы способ безреагентной комплексной очистки технологических вод обогатительного производства слюды и установка для его осуществления. Ценность и практическая значимость электрохимической очистки стоков в том, что при электролизе протекает одновременно ряд физико-химических процессов, вызванных электрической обработкой водных систем, имеется возможность несложного выделения примесей без вторичного загрязнения, что обуславливает высокий эффект очистки. Рассмотрены и развиты вопросы совершенствования методов конструирования и проектирования основного и вспомогательного оборудования и магнитных установок. Анализ, расчёты и экспериментальные исследования позволили разработать мобильную (перевозную) модель очистной установки, как устройство и механизм для получения при экспериментальных исследованиях корректных данных для проектирования промышленных очистных сооружений без ограничения производительности. Положительные результаты испытаний позволили усовершенствовать технологию и схему цепи аппаратов лабораторных установок и перейти к экспериментальным работам укрупнённых исследований и полупромышленных испытаний.

На основе результатов исследований, расчётов и экспериментов разработана технологическая схема обогащения слюды с замкнутым водооборотом с использованием безреагентной подготовки и комплексной очистки производственных вод слюдяного производства. Для испытаний способа безреагентной комплексной очистки изготовлена опытно - экспериментальная установка и испытана в промышленных условиях на технологических водах «Нижнеудинской слюдянитовой фабрики» (г. Нижнеудинск), позволившая уточнить оптимальные режимы и условия подготовки и очистки водных систем.

Процесс подготовки и очистки производственных вод должен выполняться в переходном режиме движения водных потоков на границе ламинарного и турбулентного режимов. При ламинарном режиме наблюдается резкое снижение производительности очистных сооружений, при турбулентном режиме – снижается качество и эффективность подготовки и очистки водных потоков за счёт излишнего перемешивания. Для нахождения оптимальных режимов работы оборудования необходимо иметь возможность расчёта распределения скоростей в потоке при гладкой и шероховатой поверхности русел.

Разработаны математические модели распределения скоростей в потоке.

1. На основе полуэмпирической теории Прандтля и опытов Никурадзе получены зависимости для расчёта коэффициента гидравлического сопротивления λ в шероховатых руслах. В формуле распределения скоростей используют условную, так называемую эквивалентную шероховатость k_s равнозернистого песка, создающую гидравлическое сопротивление, равное сопротивлению реальной шероховатости поверхности. Использование k_s позволяет рассчитать гидравлическое сопротивление λ по зависимости Никурадзе:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \frac{2h}{k_s} + 1,74$$

и определение λ сводится к наиболее точному нахождению k_s .

Для исследования взаимосвязи между характеристиками течения и сопротивления в открытых водотоках с учётом логарифмического характера распределения скоростей по глубине, с учётом постоянства k и B произведено интегрирование логарифмических профилей скорости по поперечному сечению для гидравлически гладкого и шерохова-

того широкого русла. При этом определена средняя скорость течения V :

$$V = \frac{1}{h} \int_0^h \left(\frac{u_D}{k} \ln \frac{u_D z}{\nu} + B_{\text{ГЛ}} u_D \right) dz = \frac{1}{k} \ln \frac{u_D h}{\nu} - \frac{1}{k} + B_{\text{ГЛ}}. \quad (1)$$

С учётом известного соотношения $V/u_D = \sqrt{8}/\sqrt{\lambda}$ установлена взаимосвязь между параметрами профиля скорости k и B с гидравлическим сопротивлением гладкого русла.

При этом формула сопротивления для открытых каналов в условиях гладкого режима сопротивления принята в виде экспериментальной зависимости Никурадзе:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg(\text{Re} \sqrt{\lambda}) + 0,8. \quad (2)$$

С учётом последних формул можно записать: $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{1}{k} \left[0,406 \left(\frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 0,8 \right) - 1,21 \right] + \frac{B_{\text{ГЛ}}}{\sqrt{8}}$.

Аналогично установлена взаимосвязь между параметрами логарифмического распределения скоростей параметром Кармана k и так называемой второй константой турбулентности B для условий квадратичного сопротивления русла.

Выполнены расчёты изменения второй константы турбулентности B по зависимостям

$$B_{\text{ГЛ}} = \frac{\sqrt{8}}{\sqrt{\lambda}} - \frac{1}{k} \left(\frac{1,15}{\sqrt{\lambda}} - 2,5 \right) \text{ и } B_{\text{ШЕР}} = \frac{\sqrt{8}}{\sqrt{\lambda}} - \frac{1}{k} \left(\frac{1,15}{\sqrt{\lambda}} - 3,69 \right) \quad (3)$$

при различных коэффициентах сопротивления λ , свойственных гладким и шероховатым каналам. Получена связь между параметрами логарифмического профиля скорости для шероховатого русла:

$$\frac{\sqrt{8}}{\sqrt{\lambda}} - B = \frac{1}{k} \left(\frac{1,15}{\sqrt{\lambda}} - 3,69 \right). \quad (4)$$

Параметр Кармана k определялся при известной динамической скорости по углу наклона осредняющей прямой, аппроксимирующей измеренные значения скоростей по глубине потока. Вторая константа турбулентности B определялась по указанной аппроксимации при значении $z/k_s = 1$. Обобщение экспериментальных данных производилось на основе полученной зависимости

$$k = \frac{\ln \frac{h}{k_s} - 1}{\frac{\sqrt{8}}{\sqrt{\lambda}} - B_{\text{ШЕР}}} \text{ с предварительной оценкой режима сопротивления русла в условиях}$$

начала формирования донного рельефа. Анализ и экспериментальные данные подтверждают возможность существования сложной взаимосвязи между коэффициентом гидравлического сопротивления и параметрами логарифмического профиля скорости k и B , которая не противоречит закономерностям гидравлического сопротивления, найденным на основе независимого динамического эксперимента.

2. Распределение скоростей по глубине потока удобно представлять для анализа и инженерных расчётов в степенном виде. Зависимость степенного вида при всех режимах сопротивления записывается в виде:

$$\frac{u}{u_{\text{max}}} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^n, \text{ где } u \text{ и } u_{\text{max}} \text{ скорость и максимальная скорость течения согласно распределению скоростей; } z \text{ и } z_0 \text{ текущая и максимальная глубина потока.}$$

Экспериментально установлена зависимость n от коэффициента гидравлического

сопротивления λ : $n = 0,9\sqrt{\lambda}$. Эта зависимость уточнялась: $n = 1,25\sqrt{\lambda}$ и принято:

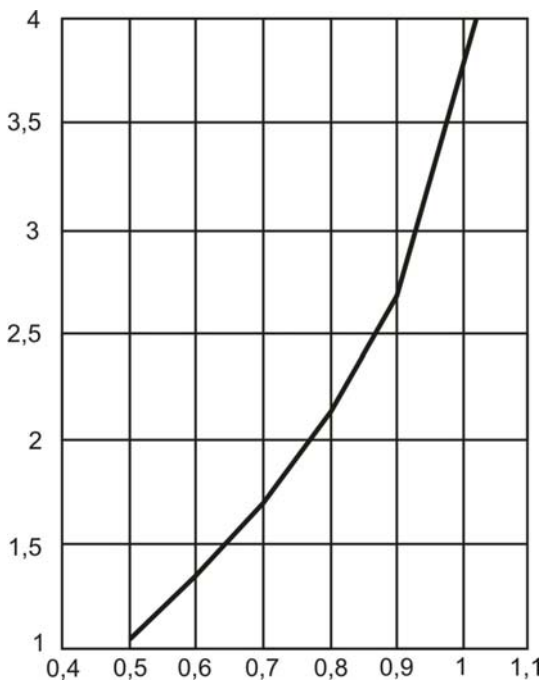


Рис. 2. График зависимости добавки к шероховатому профилю скорости в зависимости от величины выступов эффективной шероховатости

$$\frac{\Delta u}{u_D} = f\left(\frac{\delta_{B \max}}{k_s}\right)$$

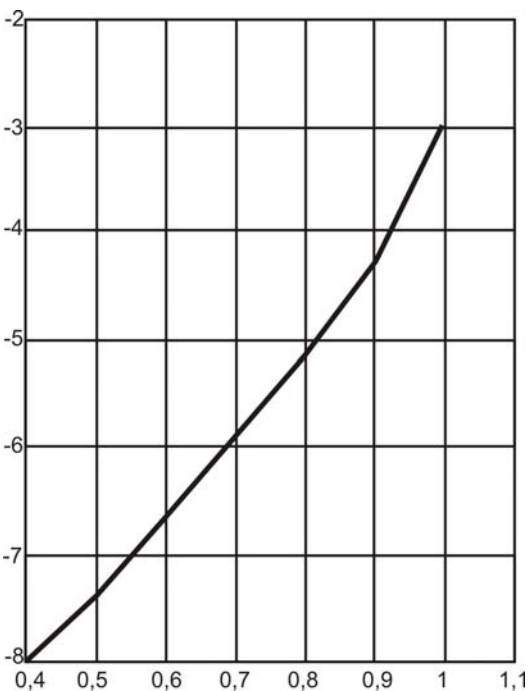


Рис. 3. График зависимости добавки к гладкому профилю скорости в зависимости от величины выступов эффективной шероховатости

$$\left(\frac{\Delta u}{u_D}\right)_{\text{ГЛ}} = f\left(\frac{\delta_{B \max}}{v}\right)$$

$n = \frac{1}{k} \frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{8}}$. Интегрируя степенной профиль скоростей для условий плоского течения в канале, определено значение показателя степени через максимальную и среднюю скорости потока:

$$\frac{V}{u_{\max}} = \frac{1}{n+1}$$

Тогда получается следующее выражение: $n = \frac{u_{\max} - V}{V}$. Из этого выражения локальный показатель степени распределения скоростей определяется по соотношению:

$$n = \frac{\ln \frac{u_i}{u_{\max}}}{\ln \frac{z_i}{z_0}}$$

принимать по зависимости: $n = \frac{1}{k} \frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{8}}$.

Распределение скоростей в потоке может быть описано зависимостями не только логарифмического, но также и степенного вида. Гидравлическое сопротивление λ зависит от касательного напряжения на дне и стенках канала:

$$\frac{\tau_0}{\rho} = \lambda \frac{V^2}{8}, \text{ где } \tau_0 - \text{ касательное напряжение на дне и стенках канала; } V - \text{ средняя скорость.}$$

Представляет интерес непосредственное сопоставление показателя степени n в профиле скорости с количественными характеристиками развивающегося донного рельефа. Результат выполненного сопоставления, подтверждает, что такая связь действительно существует и может быть представлена следующей аппроксимацией:

$$\lg \frac{S}{H} = 5,5n - 2 \text{ либо в виде: } \sqrt{\lambda} = 0,2 \lg \left(100 \frac{S}{H} \right).$$

В результате получена возможность расчёта распределения скоростей в потоке с помощью двух математических моделей логарифмического распределения скоростей в потоке (1) и расчёта параметров потока и русла на начальном этапе их взаимодействия в степенном виде (2).

Так, механический аэротенк не требует

при работе использования воздуходувок и компрессоров. Подаваемые на очистку стоки в механический аэротенк подвергаются аэрации при перемешивании стоков с поступающим воздухом импеллерами, вращающимися внутри статоров, пузырьки воздуха прилипают к твёрдым частицам примесей и выносят их в пенный продукт. Ввиду наличия частиц твёрдой фракции разной по крупности часть твёрдой фазы оседает на дно, создавая придонный (шероховатый) слой, влияющий на движение потока.

Переходный режим сопротивления отличается от гладкого и шероховатого режимов сопротивления характером обтекания выступов шероховатости.

Если величина шероховатости k_s меньше δ_{Bmax} , то после нарастания толщины вязкого подслоя сверх k_s , шероховатость полностью скрыта под вязким подслоем и в дальнейший период времени в основной толщине потока реализуется гладкий профиль скорости. В зависимости от соотношения между k_s и δ_{Bmax} в переходном режиме сопротивления могут возникнуть расчётные ситуации:

$\frac{\delta_{Bmax}}{k_s} \leq 1$ - часть времени, в течение которого реализуется «шероховатый» профиль скорости с изменяющейся эффективной шероховатостью. Поскольку $\frac{u_D \delta_{Bmax}}{v} = 48$, следо-

вательно, этой расчётной ситуации соответствуют значения $\frac{u_D k_s}{v} > 48$;

$\frac{\delta_{Bmax}}{k_s} \geq 1$ - часть времени, в течение которого реализуется «гладкий» профиль скорости над вязким подслоем, наибольшая толщина вязкого подслоя в процессе его развития достигает $\frac{u_D \delta_{Bmax}}{v} = 48$, этому соответствует

$5 < \frac{u_D k_s}{v} < 48$.

Это первое условие позволяющее рассчитать оптимальные параметры технологического режима и в первом приближении уточнить конструктивные особенности оборудования (механический аэротенк, электрофлотомашина и т.д.)

Расчётные данные, полученные на основе предложенной модели течения в переходном режиме сопротивления и представленные на рис. 2, показывают, что добавка к шероховатому профилю скорости $\Delta u / u_D$ имеет положительный знак и наибольшее её значение равно 3,75 при $\frac{\delta_{Bmax}}{k_s} = 1$.

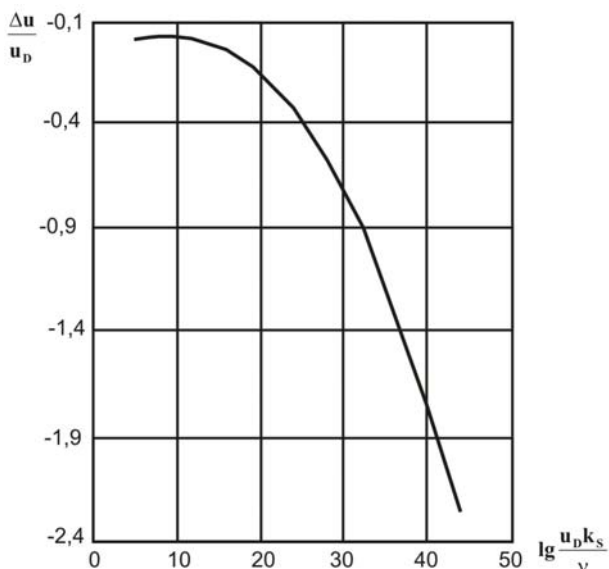


Рис. 4. График зависимости добавки к гладкому профилю скорости в зависимости от $\lg \frac{u_D k_s}{v}$ для второй расчётной ситуации

Используя полученные расчётные данные по величине поправки к шероховатому профилю скорости в переходном режиме сопротивления для первой расчётной ситуации, можно рассчитать поправку к гладкому профилю скорости, определяя разность между значениями скорости по профилю для переходного режима сопротивления, это второе условие вытекающее из предложенных математических моделей.

Результаты расчёта поправки к гладкому профилю скорости, представленные в на рис. 3, показывают, что поправка $\Delta u / u_D$ к гладкому профилю в переходном режиме сопротивления отрицательна и её величина возрастает вследствие увеличения k_s от 2,95 при $\frac{\delta_{Bmax}}{k_s}$ до 7,38 при $\frac{u_D k_s}{\nu} \approx 100$.

Полученное выражение представляет собой гладкий профиль скорости с некоторой добавкой $\Delta u / u_D$, величина которой зависит от соотношения между размером выступов шероховатости k_s и максимальной толщиной вязкого подслоя, которая для данной расчётной ситуации больше, чем k_s . Результаты расчёта поправки к гладкому профилю скорости для второй расчётной ситуации представлены на рис. 4.

Для количественной оценки поправки к профилю скорости в переходном режиме сопротивления предложенные математические модели позволяют вычислить расхождение между гладким и шероховатым

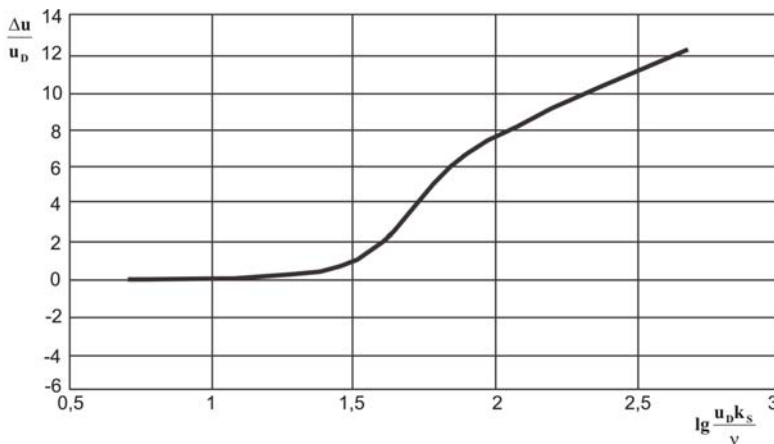


Рис. 5. Поправка к гладкому профилю скорости в переходном режиме сопротивления

логарифмическими профилями скорости. Это в свою очередь даёт возможность уточнения величины оптимальных технологических параметров и уточнения конструктивных особенностей оборудования.

Возможное расхождение между профилями скорости при переходном режиме сопротивления и расчётным профилем скорости может потребовать уточнения физической и расчётной модели течения в вязком подслое.

Расчётные данные, представленные на рис. 5, показывают, что отличия найденных ранее профилей скорости

$$\frac{u}{u_D} = \frac{1}{k} \ln \frac{y}{k_s - \delta_{Bmax} \sqrt{\frac{t}{t_0}}} + 8,48 \text{ и } t_0 = \frac{188\nu}{u_D^2}$$

отличаются от базового гладкого профиля скорости:

- для гладкого режима сопротивления $\frac{u}{u_D} = \frac{1}{k} \ln \frac{u_D y}{\nu} + C_1$;

- для шероховатого режима сопротивления $\frac{u}{u_D} = \frac{1}{k} \ln \frac{y}{k} + C_2$,

меньше по сравнению с отклонениями реальных профилей скорости в переходном режиме сопротивления. По своим параметрам профили скорости, измеренные в переходном режиме, значительно ближе к базовому профилю скорости для шероховатого режима.

Разработанные математические модели позволяют рассчитать оптимальные величины технологических параметров работы и уточнить оптимальные конструктивные величины используемого оборудования.

Уточнение закономерностей для гладких и шероховатых открытых каналов необходимо для решения задач: прогнозирование русловых процессов, перенос и рассеяние

примесей, транспорт взвесей, кислородный режим водотоков, определение транспортирующей способности водных потоков и др.

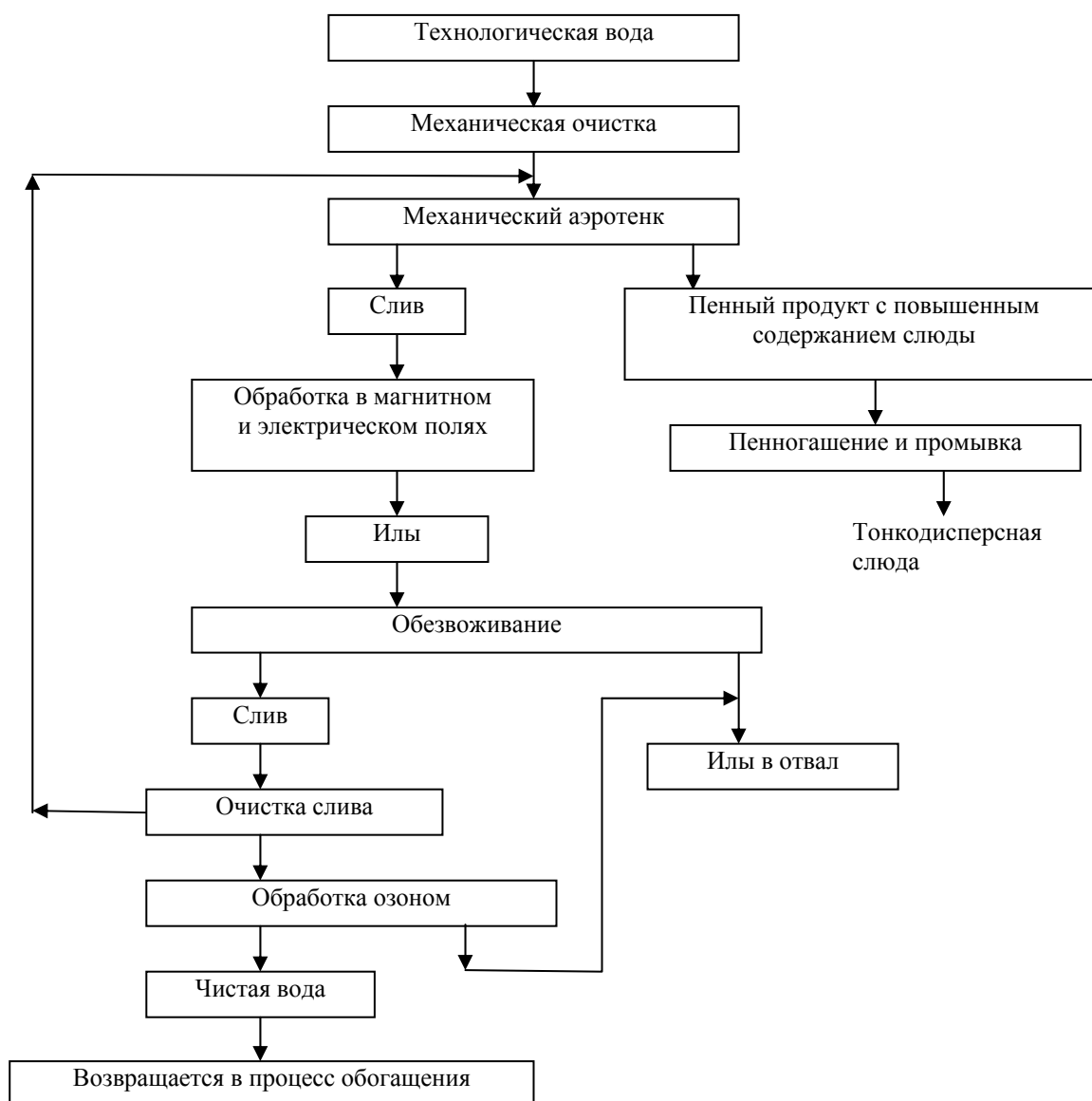


Рис. 6. Технологическая схема обработки и очистки оборотных вод при обогащении слюд

Основываясь на фундаментальных законах физической химии, электрохимии и химической технологии, рассмотрены и усовершенствованы электрохимические методы обработки воды: методы превращений, методы разделений и комбинированные методы. Ценность и практическая значимость электрохимической очистки стоков в том, что при электролизе стоков протекает одновременно ряд физико-химических процессов, вызванных электрической обработкой водных систем, имеется возможность несложного выделения примесей, что обуславливает высокий эффект очистки вод.

На основе результатов исследований, расчётов и экспериментов разработана технологическая схема и схема цепи аппаратов безреагентной подготовки и комплексной очистки производственных вод процесса обогащения слюды (рис. 6-7). Для испытаний способа безреагентной комплексной очистки водных систем изготовлена опытно-экспериментальная установка и испытана в промышленных условиях: ООО «Нижнеудинская слюдянитовая фабрика» (табл. 5).

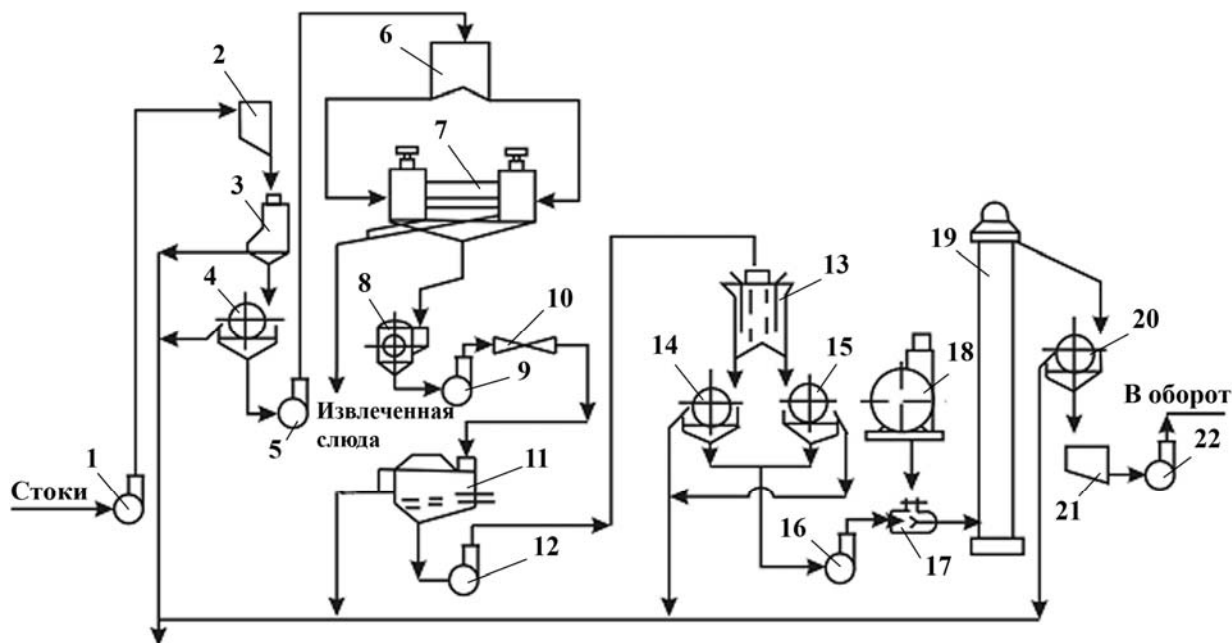


Рис. 7. Схема цепи аппаратов обработки и очистки технологических вод:
 1,5,9,12,16,22-насосы; 2-приемная емкость; 3-дуговое сито; 4, 14, 15, 20-фильтры;
 6-ёмкость; 7-механический аэротенк; 8-13-обработка в магнитном и электрическом поле;
 11-эл.флотомашина; 17-инжектор; 18-озонатор; 19-смесительная и отстойная колонны;
 21-ёмкость-зумпф

Таблица 5. Результаты очистки производственных вод ООО «Нижеудинская слюдянитовая фабрика» г. Нижеудинск

Параметры	Исходные стоки	После 1-й стадии	После 2-й стадии	После 3-й стадии	Очищенная вода
рН	3,6	5,8	6,2	6,8	7,3
Окраска	Светло-бурая	Желто-бурая	Желтая	Св.желтая	Отсутств.
Прозрачность, см.	Отсутств.	9	13	15	25
Взвеш. вещества, мг/л	8625	437	162	34,9	1,4
Кислорода, мг/л	Отсутств.	Отсутств.	5,2	8,4	13,2
БПК ₅ , мг.О ₂ /л	7298	1632,6	289,4	56,4	5,5
Окисляемость, мг.О ₂ /л	1792	342,5	98,6	15,4	3,3
Нефтепродукты, мг/л	97,6	10,2	5,64	1,48	0,05
Хлориды, мг/л	928,7	236,4	75,4	8,8	0,1
Азот аммонийный, мг/л	386,0	186,4	32,5	3,9	1,1
Фосфаты, мг/л	623,4	112,5	14,1	2,6	Отсутств.
ХПК, мг.О ₂ /л	14838	734	215,5	36,2	11,3

Таблица 6. Параметры опытной партии слюдобумаги, изготовленные с использованием технологии очистки оборотных вод

Параметр	Тип слюды - Флогопит		
	Месторождения		
	Слюдянское	Алданское	Согласно ТУ-21-25-41-99
Номинальная толщина, мм	0,05-0,07	0,05-0,06	0,05-0,10
Электрическая прочность, кВ/мм	13,1	13,3	12 - 14
Гангенс угла диэлектрических потерь, 10 ⁻⁴	11 - 19	9 - 13	Не более 50
Диэлектрическая проницаемость	7,26 - 7,28	7,21 - 7,29	6,00 - 8,00
Средняя прочность на разрыв, Н/мм ²	17	15	Не менее 12

Способ безреагентной комплексной очистки вод при техническом выполнении позволяет повысить степень очистки с обеспечением комплексности вывода примесей безреагентным, нехимическим путём.

Таблица 7. Параметры опытной партии слюдокомпозита, изготовленные с использования технологии очистки оборотных вод

Параметр	Тип слюды - флогопит		
	Месторождения		
	Слюдянское	Алданское	Согласно ТУ-21-25-48-74
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	117,6	108,1	73,5
Тангенс угла диэлектрических потерь, мин.	10,5	8,2	17
Электрическая прочность, МВ/м	27,4	14,7	10 - 20
Плотность, кг/м ³ *10 ⁻³	2,9	3,1	3
Диэлектрическая проницаемость	7,23	7,5	6 - 10
Водопоглощение, %	0,05	0,045	0,05
Удельное поверхностное сопротивление, Ом	1,1x10 ¹²	1,30x10 ¹²	10 ¹⁰
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом	3,15x10 ¹³	3,05x10 ¹²	10 ¹⁰

Экспериментальные исследования образцов слюдобумаги и слюдокомпозита показали улучшение качественных показателей продукции среднем на 7% и 5% соответственно. Дополнительно извлекаемая мелкодисперсная слюда составляет около 5% от общего вырабатываемого объема.

Экономический эффект от внедрения технологии обогащения слюды с замкнутым водооборотом составит 4 546 175,2 руб.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Рассмотрены и изучены требования к качеству технологической воды при обогащении слюдяного сырья. Изучены показатели физико-химического качества воды, поступающей на ООО «Нижнеудинская слюдянитовая фабрика».
2. Изучено состояние слюдяной промышленности, зависимость её выпуска от минеральных ресурсов и конкретно от величины запасов мусковита и флогопита. Изучена технология обогащения слюдяных сырья и производства слюдоматериалов ООО «Нижнеудинская слюдянитовая фабрика», причины и места загрязнения используемой технологической воды.
3. Разработанные математические модели позволяют рассчитать оптимальные величины технологических параметров работы и уточнить оптимальные конструктивные величины используемого оборудования. Уточнение закономерностей для гладких и шероховатых открытых каналов необходимо для решения задач: прогнозирование русловых процессов, перенос и рассеяние примесей, транспорт взвесей, кислородный режим водотоков, определение транспортирующей способности водных потоков и др.
4. Установлено, что распределение скоростей по глубине потока удобно представлять для анализа и инженерных расчётов в степенном виде. Экспериментально установлена зависимость распределения скоростей по глубине потока от коэффициента гидравлического сопротивления. Получена возможность расчёта распределения скоростей в потоке с помощью двух математических моделей логарифмического распределения скоростей в потоке и расчёта параметров потока и русла на начальном этапе их взаимодействия в степенном виде.
5. Предложена технология обогащения слюды с использованием замкнутого водообо-

рота, способов и устройств очистки производственных вод с обеспечением комплексности вывода примесей безреагентным нехимическим путём, то есть без применения твёрдых и жидких химических реагентов.

6. Исследовано влияние качества технологической воды на технические показатели готовой продукции слюдяного производства. Экспериментальные исследования показали улучшение технических показателей слюдобумаги на 7 % и слюдокомпозиата на 5 %.

7. Предложенная технология обогащения слюды с использованием замкнутого водооборота позволяет рациональнее использовать минеральные ресурсы, за счет извлечения мелкой слюды из стоков и уменьшить негативное влияние на экологию, удалением вредных примесей.

8. Разработана технологическая схема безреагентной подготовки и комплексной очистки производственных вод обогатительного предприятия. Для испытаний способа безреагентной комплексной очистки технологических вод изготовлена опытно - экспериментальная установка и испытана в промышленных условиях ООО «Нижнеудинской слюдянитовой фабрики» (г. Нижнеудинск).

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в ведущих научных журналах, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Надршин В.В., Мельников В.В., Огнев И.А., Роговой А.Н.** Исследование вихревых течений жидкости и взвеси в процессе обогащения слюды //Вестник ИрГТУ. – Иркутск : Издательство ИрГТУ. -2010. № 5. С. 202-207.

2. **Надршин В.В., Мельников В.В., Огнев И.А., Роговой А.Н.** Исследование и расчет ламинаризирующих элементов течения жидкости и взвеси в процессе обогащения слюды //Вестник ИрГТУ. – Иркутск : Издательство ИрГТУ. -2010. № 6. С. 203-206.

3. **Киселев А.Б., Байбородин Б.А., Ястребов К.Л., Надршин В.В.** К вопросу о модели изменения структуры и энергетики воды при различных физических воздействиях //Вестник ИрГТУ. – Иркутск : Издательство ИрГТУ. -2007. № 3. С. 67-70.

4. **Кычкин А.Е., Надршин В.В.** Моделирование процесса цианирования промежуточных продуктов доводки гравитационных концентратов //Вестник ИрГТУ. – Иркутск : Издательство ИрГТУ. -2007. № 1. С. 18-21.

5. **Надршин В.В.** Методы отстаивания и осаждения в очистке сточных и природных вод //Вестник ИрГТУ. – Иркутск : Издательство ИрГТУ. -2006. № 4. С. 17-20.

6. **Байбородин Б.А., Ястребов К.Л., Надршин В.В.** Способ безреагентной очистки природных и сточных вод и установка для его реализации // «Безопасность жизнедеятельности». – Москва : Издательство ООО «Новые технологии». -2006. №10. С. 26-33.

Монографии:

7. **Байбородин Б.А., Ястребов К.Л., Надршин В.В., Куницын Ю.И.** Технология рудного самоизмельчения и конструкции оборудования : монография. – Иркутск : Издательство ИрГТУ. 2004. - 189с.

8. **Ястребов К.Л., Байбородин Б.А., Куницын Ю.И., Надршин В.В.** Развитие теории и методов очистки природных и сточных вод : монография. – Иркутск : Издательство ИрГТУ. 2008. - 302с.

9. **Ястребов К.Л., Байбородин Б.А., Куницын Ю.И., Надршин В.В.** Совершенствование теории и практики подготовки и очистки природных и сточных вод : монография. – Иркутск : Издательство ИрГТУ. 2009. – 248 с.

10. **Надршин В.В., Ястребов К.Л., Байбородин Б.А., Дружинина Т.Я.** Теоретические основы перемещения, промывки и обогащения полезных ископаемых : монография. – Иркутск : Издательство ИрГТУ. 2010. - 240с.

Публикации в других изданиях:

11. Байбородин Б.А., Ястребов К.Л., Надршин В.В., Куницын Ю.И. Принцип и основные закономерности обогащения полезных ископаемых в винтовом потоке пульпы // Сборник научных трудов Обогащение руд. – Иркутск : Издательство ИрГТУ. - 2003. – С. 142-151.

12. Ястребов К.Л., Байбородин Б.А., Надршин В.В. Кычкин А.Е. Перспективы развития методов обогащения минерального сырья // Современные методы переработки минерального сырья : мат-лы науч.- практ. конф. (Иркутск, 23-26 марта, 2004 г.). С. 55-56.

13. Байбородин Б.А., Ястребов К.Л., Надршин В.В. Экспериментальная апробация и в промышленных условиях способа безреагентной очистки сточных вод слюдяного производства // Техничко-экономические проблемы развития регионов : мат-лы науч.- практ. конф. (Иркутск, 19-21 апреля, 2005 г.). С. 119-131.

14. Ястребов К.Л., Байбородин Б.А., Надршин В.В. Особенности обогащения полезных ископаемых в винтовом потоке пульпы // II Всероссийская школа-семинар молодых ученых. Обогащение руд. - Иркутск : Издательство ИрГТУ. - 2006. – С. 83-92.

15. Надршин В.В., Байбородин Б.А., Ястребов К.Л., Кычкин А.Е. Развитие и совершенствование экологически чистых методов и устройств для обогащения металлоносных песков // II Всероссийская школа-семинар молодых ученых. Обогащение руд. - Иркутск : Издательство ИрГТУ. - 2006. – С. 137-147.

16. Надршин В.В., Ястребов К.Л., Байбородин Б.А., Огнев И.А. Решение проблемы безреагентной подготовки и очистки природных и сточных вод // «Динамика научных исследований» : мат-лы науч.- практ. конф. (Республика Польша , 15-17 июня, 2011 г.). С. 59-61.



Подписано в печать 18.04.2012. Формат 60 x 90 / 16.
Бумага офсетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,5.
Тираж 120 экз. Зак. 80. Поз. плана 10н.

Лицензия ИД № 06506 от 26.12.2001
Иркутский государственный технический университет
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83