

МИНИСТЕРСТВО ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ УКРАИНЫ  
Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем

На правах рукописи

АТАМАНЮК АЛЕКСЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

УДК 628. 543: 541. 183

**СНИЖЕНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ  
ПУТЕМ ОБРАБОТКИ ОБВОДНЕННЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАМОВ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ**

Специальность 21.06.01 – экологическая безопасность

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук, профессор  
Касимов Александр Меджитович

Харьков – 2013

## СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ, СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
РАЗДЕЛ 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	12
1.1 Анализ техногенной нагрузки на территорию Украины в районах размещения металлургических заводов .....	12
1.2 Анализ методик изучения существующих процессов гравитационного обезвоживания шламов.....	17
Цель и задачи исследования.....	27
РАЗДЕЛ 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	29
2.1 Характеристика металлургических железосодержащих шламов .....	29
2.1.1 Характеристика шламов газоочисток доменных печей.....	29
2.1.2 Характеристика шламов газоочисток аглоцеха.....	30
2.2 Методические принципы постановки исследований.....	31
2.3 Методики для определения электрокинетических свойств суспензий.....	34
2.4 Методика определения электрокинетических свойств твердых частиц шламов мокрых газоочисток доменных печей и аглоцеха.....	35
2.5 Методика определения способности воды к фильтрации через слой шлама под действием постоянного электрического тока.....	39
2.6 Методика определения электрокинетических явлений возникающих при гравитационном обезвоживании шламов под действием постоянного электрического тока.....	43
Выводы к разделу 2.....	45
РАЗДЕЛ 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ОСАЖДЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА .....	47
3.1 Исследование гравитационного осаждения шлама газоочисток доменных печей под действием постоянного электрического тока .....	47

3.1.1 Зависимость скорости сгущения дисперсной фазы суспензии от свойств двухфазного потока.....	47
3.1.2 Зависимость степени уплотнения шламов газоочисток доменных печей от температуры и напряжения электрического тока.....	54
3.1.3 Изучение электрокинетических явлений при гравитационном осаждении взвешенных частиц шламов газоочисток доменных печей .....	56
3.1.4 Расчет радиусов ионов кальция в жидкой фазе шламов газоочисток доменных печей по удельной электропроводности.....	61
3.1.5 Анализ экспериментов по осаждению шламов газоочисток доменных печей.....	63
3.2 Исследование гравитационного осаждения шламов газоочисток аглоцеха под действием постоянного электрического тока.....	64
3.2.1 Зависимость степени уплотнения шламов аглоцеха от температуры и напряжения постоянного электрического тока .....	64
3.2.2 Изучение электрокинетических явлений при гравитационном осаждении шламов газоочисток аглоцеха .....	66
3.2.3 Расчет радиусов ионов кальция в жидкой фазе шламов газоочисток аглоцеха.....	70
3.2.4 Анализ экспериментов по осаждению шламов газоочисток аглоцеха.....	70
3.3 Исследование гравитационного осаждения смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха под действием постоянного электрического тока.....	72
3.3.1 Зависимость степени уплотнения смеси шламов от температуры и напряжения постоянного электрического тока.....	72
3.3.2 Изучение электрокинетических явлений при гравитационном осаждении смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха.....	74
3.3.3 Анализ экспериментов по осаждению смеси шламов газоочисток аглоцеха и доменных печей .....	78
Выводы к разделу 3.....	78
РАЗДЕЛ 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ ШЛАМОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА.....	80

	4
4.1 Исследование процесса фильтрации жидкой фазы шламов .....	80
4.2 Исследование электрокинетических явлений, возникающих в твердой фазе шламов.....	86
4.2.1 Определение электрокинетических $\xi$ – потенциалов на поверхности частиц твердой фазы шламов.....	86
4.2.2 Анализ результатов изучения электрокинетических свойств шламов при их гравитационном осаждении под действием постоянного электрического тока...	90
Выводы к разделу 4.....	96
<b>РАЗДЕЛ 5. РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАМОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА.....</b>	<b>97</b>
5.1 Определение оптимальных условий обезвоживания.....	97
5.2 Определение оптимальной длительности процесса обезвоживания шламов.....	99
5.2.1 Анализ затрат электроэнергии для гравитационного обезвоживания шламов газоочисток доменных печей, аглоцеха и их смеси под действием постоянного электрического тока .....	105
5.3 Разработка новой конструкции горизонтального отстойника для гравитационного обезвоживания шламов под действием постоянного электрического тока.....	106
5.4 Разработка способа гравитационного обезвоживания смеси шламов доменных печей и аглоцеха под действием постоянного электрического тока.....	109
5.5 Технико-экономический анализ и экологическая оценка результатов выполненных исследований и разработок.....	110
Выводы к разделу 5.....	124
<b>ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....</b>	<b>125</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>128</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>141</b>



ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ,  
СОКРАЩЕНИЙ И ТЕРМИНОВ

Условные обозначения

$\chi$	– удельная электропроводность воды, $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$
$C$	– концентрация ионов в воде, г-экв/дм <sup>3</sup>
$r$	– радиус иона, Å
$\eta$	– вязкость среды, сПз
$v$	– скорость движения иона, м/с
$Z$	– заряд иона
$e$	– элементарный заряд иона
$H$	– градиент потенциала внешнего электрического поля, В/см
$F$	– число Фарадея, г/моль
$N_0$	– число Авогадро, моль <sup>-1</sup>
$U$	– абсолютная подвижность иона, см/с
$\xi$	– электрокинетический потенциал частицы, мВ
$E$	– разность потенциалов, В
$L$	– расстояние между электродами, см
$K$	– коэффициент фильтрации, см/с
$V$	– объемная скорость жидкости, см <sup>3</sup> /с
$R$	– сопротивление системы, Ом
$I_n$	– сила тока, А
$\gamma$	– проиндексированный удельный экономический ущерб от загрязнения водных ресурсов в текущем году, грн/т

Сокращения

ОПС	– окружающая природная среда
ПО	– промышленные отходы
ШН	– шламонакопитель
ТО	– токсичные отходы
ТРМ	– тяжелые и редкие металлы

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** На металлургических предприятиях Украины накоплено более 70 млн т шламов, из которых 21 млн т пригодны для повторного использования. Непосредственными источниками воздействия на окружающую природную среду (ОПС) шламонакопителей являются фильтрационное загрязнение почв и грунтовых вод тяжелыми металлами, вторичное пыление с их поверхности, отчуждение и загрязнение занимаемых ими земель, трансформация природного ландшафта.

На долю металлургии приходится 38 % общих выбросов промышленности Украины. Основным потребителем энергии и источником эмиссии вредных веществ в ОПС является аглодоменный комплекс (более 70 % отходов). Поэтому принципиальный подход к сокращению потерь сырья и переработки накопленных промышленных отходов (ПО) может дать ощутимый экономический и эколого-социальный эффект.

В металлургической промышленности уделяется особое внимание снижению энергетических затрат на всех ступенях технологического производства. Значительные затраты связаны с переработкой и утилизацией шламов, пылей, содержащих соединения тяжелых и редких металлов ТРМ (Fe, Mn, Zn, Cr, V, Pb и др.), опасных для здоровья человека и ОПС. Их содержание в шламах газоочисток весьма велико, что позволяет рассматривать их как ценное вторичное сырье. Вышеуказанное подтверждает актуальность темы диссертационной работы.

**Связь работы с научными программами, планами и темами.** Работа проводилась во исполнение Законов Украины «Про відходи» от 5.03.98 р. №187/98 (с изменениями от 07.03.02 г. №3073-III), «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.91 г. № 1264-XII, «Про охорону земель» от 19.06.03 г. № 962-IV, «Об общегосударственной Программе обращения с токсичными отходами» от 14.09.00 г., Постановлением ВР Украины «Про основні напрямки державної політики України в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки» № 118/98-ВР от 5.03.1998 г., Распоряжения Кабинета Министров Украины «Про схвалення концепції національної екологічної

політики України на період до 2020р.» від 17.10.2007 р. №880-р. в соответствии с «Комплексной программой энергосбережения Запорожской области», утвержденной распоряжением главы облгосадминистрации №626 от 23.12.2010 г., «Програмою поводження з твердими відходами в Запорізькій області на 2008-2012 рр.», затвердженою Рішенням Запорізької ради від 07.08.2008 р. №17. В соответствии с планами научно-исследовательских работ УкрНИИЭП 2011-2012 гг. и программой МОН Украины (№ госрегистрации 0111U006335).

**Целью диссертационной работы** явилось обеспечение экологической безопасности в районах размещения крупнотоннажных отходов газоочисток металлургических заводов путем разработки на базе теоретических и экспериментальных исследований технологий и оборудования по предотвращению экологически опасного воздействия на нее шламонакопителей агломерационного и доменного производства.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- оценка степени повышения экологической безопасности ОПС в районе металлургического комбината «Запорожсталь»;
- изучение химического состава шламов агломерационного и доменного производства металлургического комбината «Запорожсталь»;
- теоретическое исследование процесса обезвоживания металлургических шламов;
- изучение кинетики и выявление закономерностей процесса электрообработки обезвоживаемых шламов агломерационного и доменного производства при изменяемых температурах;
- разработка на базе теоретических и экспериментальных исследований процесса гравитационного обезвоживания шламов с обработкой их постоянным электрическим током при изменяемых температурах;
- исследование и оптимизация параметров технологии и оборудования разработанной экологически безопасной технологии гравитационного обезвоживания шламов с обработкой их постоянным электрическим током при изменяемых температурах;

- разработка промышленной технологии и установки для гравитационного обезвоживания шламов с обработкой их постоянным электрическим током при изменяемых температурах, без классификации по гранулометрическому составу;

- расчет и анализ технико-экономической эффективности реализации разработанных процессов и оборудования.

**Объект исследования.** Влияние шламонакопителей агломерационного и доменного производства на окружающую среду.

**Предмет исследования.** Снижение экологически опасного воздействия на окружающую природную среду шламонакопителей крупнотоннажных отходов газоочисток агломерационного и доменного производства путем комплексного влияния постоянного тока и температуры.

**Методы исследований.** Использован современный математический аппарат для планирования экспериментов и установления равенств регрессии степени уплотненности шлама, в зависимости от факторов влияния – температуры суспензии и напряжения постоянного тока с графической и табличной интерпретацией полученных результатов. При проведении опытов использованы стандартные методики определения основных физико-химических свойств изучаемых отходов и получаемых продуктов, разработаны новые методики и лабораторные установки для изучения электрокинетических явлений, происходящих в объеме исследуемых суспензий и в осадках.

Для оценки влияния постоянного тока и температуры в системе на процессы уплотнения шламов разработана методика определения скорости гравитационного осаждения шламов, степени их уплотнения и изменения электрокинетического  $\xi$  – потенциала на поверхности частиц.

Разработана методика проведения экспериментов для изучения электрокинетических явлений, возникающих в процессе фильтрации воды через шламовый осадок под действием постоянного электрического тока. Для оценки влияния постоянного электрического тока и температуры на процесс гравитационного осаждения шламов газоочисток аглоцеха и доменных печей

разработана методика расчета электрокинетического  $\xi$  – потенциала на границе раздела фаз и методика расчета коэффициента фильтрации шламов.

Для обработки результатов экспериментов использован метод наименьших квадратов. Для определения экономической эффективности разработанной технологии гравитационного обезвоживания шламов с обработкой их постоянным электрическим током при изменяемых температурах применяли действующие методики определения технико-экономической эффективности от внедрения разрабатываемых технологий и оборудования и технико-экономические показатели существующих оборотных циклов комбината «Запорожсталь».

**Научная новизна полученных результатов.** Впервые теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что эффективное осаждение шламов газоочисток металлургического производства, обеспечивающее их экологически безопасное обезвоживание и утилизацию, достигается в результате сочетания гравитационных процессов с обработкой постоянным электрическим током при изменяемых температурах.

Уточнены и развиты представления о кинетике физико-химических процессов, происходящих при обработке шламов постоянным электрическим током - установлен характер комплексного влияния технологических факторов процесса на его эффективность и совокупность показателей использования электроэнергии.

Впервые установлено, что при обработке шламов постоянным электрическим током степень их уплотнения повышается: шламов газоочисток доменных печей - на 10 %, шламов газоочисток агломерационного цеха на 19 %, их смеси в объемах 2,5-3,0:1 - на 53 %.

Экспериментально доказано, что скорость фильтрации воды через слой шлама возрастает под действием постоянного электрического тока благодаря уменьшению радиусов гидратированных ионов.

#### **Практическое значение работы:**

- обеспечена экологическая безопасность ОПС путем переработки и дальнейшей утилизации металлургических шламов путем их гравитационного обезвоживания под действием постоянного электрического тока и регулируемой температуры;

- разработана эффективная ресурсо-энергосберегающая технология переработки крупнотоннажных металлсодержащих шламов газоочисток агломерационного и доменного переделов или реализации их на рынке ПО для межотраслевого использования;

- разработан способ, позволяющий обезвоживать шламы газоочисток металлургических производств путем их обработки постоянным электрическим током с ростом степени гравитационного обезвоживания и значительного сокращения влажности осадков;

- разработано новое оборудование для осаждения шламов газоочисток доменных печей с ростом степени обезвоживания с 18 до 20 %;

- преимуществами обезвоживания смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцефа в объемах 2,5-3,0:1, являются: сокращение времени обезвоживания до 1,67 час и затрат электроэнергии на обезвоживание - до 72 %;

По результатам работы получено 6 патентов Украины на изобретения.

**Личный вклад соискателя.** Проведены оценка распределения техногенной нагрузки на территорию Украины, обзор литературных источников, анализ процессов переработки крупнотоннажных ПО металлургических предприятий, выполнен анализ процессов обезвоживания металлургических шламов.

Соискатель лично принимал участие в разработке методик проведения экспериментов, разработке и создании лабораторных установок, во всех экспериментах и исследованиях, обработке и анализе полученных данных.

Разработаны лабораторная установка для изучения электрокинетических явлений, происходящих в объеме суспензии и в шламах в зависимости от температуры и параметров постоянного тока при осаждении взвешенных частиц и лабораторная установка для изучения электрокинетических явлений при фильтрации жидкости через слой осадка под воздействием постоянного электрического тока, температуры и других факторов.

На основе теоретических предпосылок и выполненных исследований разработана новая технология и оборудование для гравитационного обезвоживания

железосодержащих шламов под действием постоянного электрического тока и изменяемых температурных режимов.

Автором разработаны технические решения всех изобретений и оформлены патентные заявки.

**Апробация результатов диссертации.** Результаты работы докладывались на XI, XII, XIII научно-технических конференциях студентов, магистрантов, аспирантов и преподавателей «Энергетика и энергосбережение» Запорожской государственной инженерной академии в 2006-2008 гг., на XXXIII, XXXIV, XXXV международных научно-технических конференциях молодежи ОАО «Запорожсталь», в 2006-2008 гг., на XV международной научно-практической конференции «Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов» г. Щелкино, АР Крым в 2007 г., на 1-м международном конгрессе «Защита окружающей среды. Энергосбережение. Сбалансированное природопользование», Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, в 2009 г.

**Публикации.** Основные результаты работы по теме диссертации отображены в 22 научных работах, из них 6 статей – в научных специализированных профессиональных изданиях в области технических наук, 5 статей – в сборниках научных трудов, 5 тезисов – в сборниках материалов научно-практических конференций, 6 – в патентах Украины.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 разделов, общих выводов, списка литературы из 112 использованных источников на 12 стр. Работа содержит 38 рисунков, 40 таблиц. Полное содержание работы приведено на 150 страницах, из них основного текста 127 страниц.

Значительный объем исследований, выполненных автором в диссертационной работе, оказался возможным благодаря помощи работников комбината «Запорожсталь» - главного энергетика Лыкова А.А., заместителя главного энергетика Сидоренко А.П., заведующей лабораторией охраны окружающей среды Лешкиной Л.Н., кандидата технических наук Назаренко Н.П. Автор выражает благодарность научному руководителю, д.т.н., профессору Касимову А.М.

## РАЗДЕЛ 1

### ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 1.1 Анализ техногенной нагрузки на территорию Украины и в районах размещения металлургических заводов

На металлургических предприятиях Украины накоплено более 70 млн т шламов, из которых 21 млн т пригодны для повторного использования [1]. Основным источником эмиссии вредных веществ в ОПС является аглодоменный комплекс (более 70 % отходов). Поэтому принципиальный подход к обеспечению экологической безопасности в районах размещения металлургических заводов, сокращению потерь сырья и переработке накопленных ПО может дать ощутимый эколого-социальный и экономический эффект. Появится возможность конструктивного решения проблемы снабжения металлургического комплекса Украины вторичным сырьем, которое в настоящее время не используется, и обеспечения экологической безопасности в районах их размещения [2].

Особенностью загрязнения ландшафтов Украины является локализация загрязнителей в верхней части ландшафта - почвенном покрове. Уровни техногенной нагрузки на территорию Украины и в районах размещения металлургических заводов (гг. Запорожье, Кривой Рог, Донецк, Днепропетровск и др.) приведены на (рис. 1.1).

Производственная деятельность на территории Украины, особенно интенсивная со второй половины XX в., способствует созданию техногенного загрязнения, для которого характерно [3-9]:

- скопление массы разнообразных ПО в районах активной горнорудной, металлургической и др. отраслей промышленности;
- размещение ПО с определенной неравномерностью. В крупных



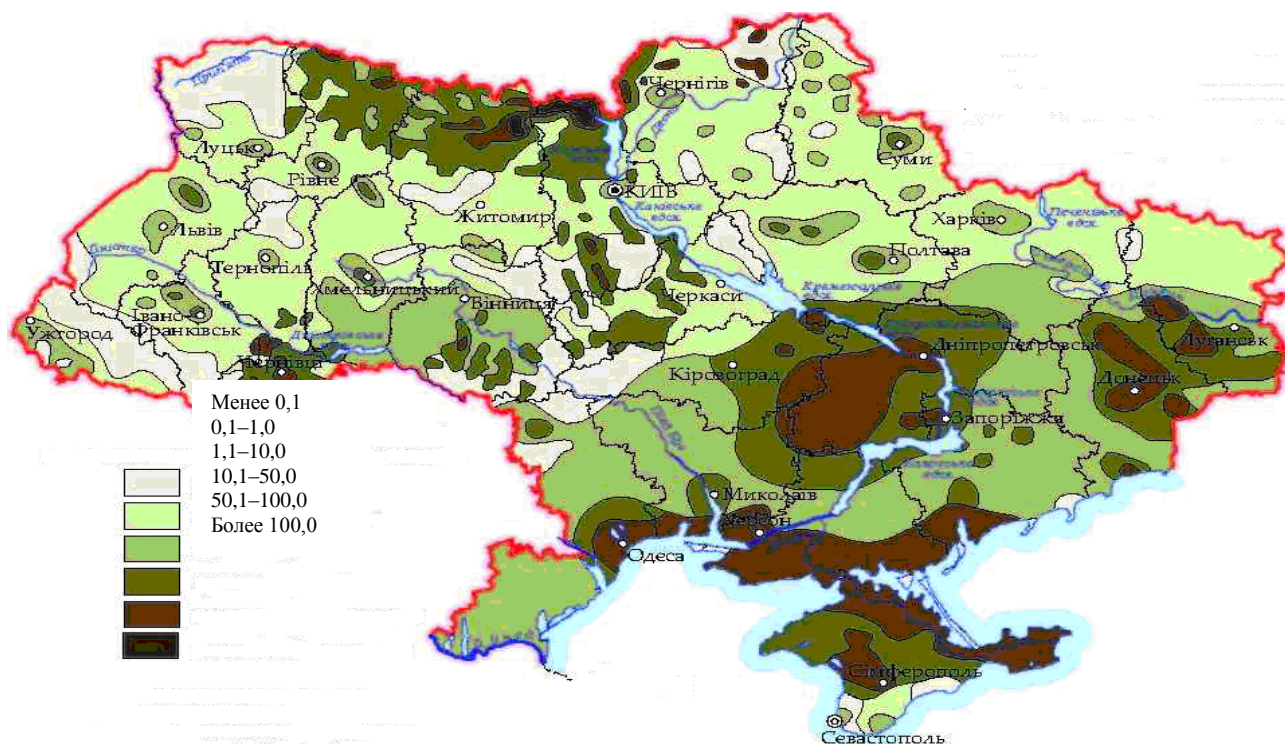


Рисунок 1.1 - Карта техногенной нагрузки на территорию Украины, тыс. т/км<sup>2</sup>

промышленных центрах, металлургических регионах накоплены значительные количества вскрышных, шахтных пород, металлургических шламов, что хорошо видно на карте техногенной нагрузки на территорию Украины;

- сочетание нескольких типов техногенного воздействия, что приводит к усложнению экологической обстановки в промышленных центрах;

- постоянное негативное влияние техногенеза на здоровье людей в наиболее экологически напряженных районах, и в целом по территории Украины вследствие переноса загрязнителей ветром и водой;

- концентрирование химических элементов (в т. ч. металлов) в ПО и участие их в негативном воздействии на природу и человека.

Во всех промышленных регионах Украины происходит распределение техногенных отходов на глубину 5-10 см в черноземах и 30-40 см в солонцеватых почвах. Для предотвращения негативного техногенного воздействия крупнотоннажных ПО на ОПС необходимо решить актуальную проблему

экологизации процессов, создания малоотходных технологий, вовлечения в производственный цикл вторичных материальных и энергетических ресурсов.

За ухудшение экологической обстановки предприятие несет правовую и финансовую ответственность в виде выплаты налогов, штрафов, оплаты занятой ПО земли и правовых санкций, определенных законодательством Украины.

Высокая эффективность использования ПО ведет к значительному росту их удельного веса в общем балансе сырьевых ресурсов. Это в свою очередь способствует сбережению природного сырья и решению проблем защиты ОПС. В приповерхностной зоне техногенных отложений под воздействием кислорода, воды, фильтрационных полей и других факторов происходят интенсивное растворение и миграция соединений металлов. При этом образуются загрязненные ТРМ участки с восстановленными и окисленными формами. В ШН крупных металлургических предприятий Донбасса отмечены промышленные концентрации 13 полезных элементов, в т. ч. Zn, Pb, Fe, Mn, Cd и Cr. Ряд исследований свидетельствует, что в почвах и водоемах, окружающих ШН, содержание Zn, Cu, Cr, Mg, Fe выше, чем в зональных почвах и водах в 1,5- 3 раза.

Площадка, используемая для складирования ПО представляет собой дренажную емкость, бассейн аккумуляции подземных и поверхностных вод, грунтов, гравитационных потоков обломочного материала и воздушных суспензий. Индикаторами их вредного воздействия на ОПС служат размеры изымаемых и отчуждаемых земель с учетом их ресурсной ценности и удельной землеемкости - величины отводимой площади на 1 т размещаемых ПО.

Специфика негативного воздействия ШН на ОПС связана с тем, что, в отличие от выбросов и сбросов, они «стационарны». Спад или закрытие производств ликвидирует или снижает загрязнение атмосферы и водных объектов, а накопленные ПО продолжают отрицательно воздействовать на ОПС (табл.1.1).

Одним из экологически неблагополучных городов Украины является г. Запорожье с населением более 800 тыс. человек и развитой промышленностью (2 крупнейших металлургических комбината - «Запорожсталь» и «Днепроспецсталь» ферросплавное производство и др.). В зонах до 5 км возле этих предприятий

отмечено устойчивое превышение ПДК по соединениям ТРМ в атмосфере, водном бассейне и почве [10, 11].

Таблица 1.1 - Объемы шламов в ШН металлургических заводов, данные 2011 г.

Страна, город, предприятие	Объем ШН млн т	Сброс, тыс т/год	Содержание компонентов, % масс.		
			Fe	Pb	Zn
Украина, Запорожье, «Запорожсталь»	30,0	до 84	35 - 40	0,4 -0,5	0,6 -1,2
Украина, Мариуполь «МК им. Ильича»	6,5	200	48-57	0,7-1,5	0,5-2,8
Украина, «Арселор Миттал Кривой Рог»	6,8	250-300	49-55	0,7-1,5	1,9-3,7
РФ, Липецк, «НЛМК»	7,8	до 300	45-54	0,9-2,0	1,5-2,6
РФ, Череповец, «Северсталь»	8,0	до 300	50-52	1,0-2,0	2,5-3,8

Внедрение современных технологий по переработке ПО, которые отвечают передовым достижениям науки и техники, осуществляется очень медленно и требует принятия конструктивных мер для решения проблемы на региональном уровне и в масштабах государства. Главным источником образования металлосодержащих шламов в доменном производстве является доменная печь, основная масса пыли из которой выносится с колошниковыми газами.

Неэффективное использование первичных природных ресурсов и энергоносителей осложняет выпуск конкурентоспособной высокорентабельной продукции, усугубляет социально - экономические проблемы государства. Стремление Украины войти в передовое мировое сообщество будет существенно сдерживаться нерешенными проблемами экологизации предприятий, необходимостью улучшения условий труда, снижения энергозатрат при переработке ПО.

Все этапы обращения с ПО - сбор, использование, захоронение должны объединяться единой экологически корректной, организационно и финансово устойчивой системой управления и сопровождаться техническим и экономико-финансовым обеспечением.

По заключению специалистов, изучавших экологическую ситуацию в ряде городов Украины, причинами смерти жителей на 95 % явились болезни, обусловленные ухудшившейся средой обитания, а ряд регионов признан зоной экологического бедствия. Выполненное Институтом геолого-экологических проблем Донбасса эколого-геохимическое картирование почв показало, что в их загрязнении участвуют более 40 вредных веществ, в т. ч. 26 металлов, полициклические ароматические углеводороды, нитраты, нитриты, аммонийный азот, хлориды.

Очаги химического загрязнения почв чрезвычайно опасной и опасной категорий характеризуются сложным строением и занимают значительные территории. Они имеют один или несколько эпицентров, соответствующих расположению источников промышленных выбросов загрязняющих веществ. Сопоставление геохимических спектров техногенных литохимических аномалий показало наличие причинно-следственной геохимической связи в цепи «минеральное сырье - отходы - ОПС».

Анализ распространение загрязнителей, показывает, что в почвах Запорожского региона зафиксированы концентрации Zn (до 435 ПДК), As (до 100 ПДК), Pb (56 ПДК), Cd (до 125 ПДК). Изучение форм нахождения ТРМ в почвенных пробах промышленно-городской агломерации позволило проследить поведение Pb, Zn, Cu, Cr, Cd, Sn, Mn, V в широком диапазоне концентраций. Основное количество Cr, Sn, V, присутствует в загрязненных почвах в виде устойчивых, не склонных к миграции форм, тогда как Zn, Pb, Cd, Cu, Mn образуют подвижные формы.

Основными причинами негативной экологической ситуации на Украине являются:

- высокий удельный вес горно-металлургического и энергетического комплексов с крупнотоннажными потоками первичного сырья и отходов;

- недооценка долговременных технических, социально-экономических и эколого-гигиенических последствий накопления ПО и токсичных отходов (ТО) и нарушение экологических норм обращения с ними;

- несовершенство системы управления ПО на уровне предприятий, регионов и государства, недостаточное внимание созданию и развитию нормативно-правовой базы для решения проблемы ПО;

- неэффективность экономических механизмов стимулирования при решении проблемы ПО и недостаточность финансового обеспечения мероприятий;

- неполнота информационно-аналитического обеспечения при исследовании процессов образования и накопления ПО и ТО и их воздействия на ОПС;

- неразвитость инфраструктуры системы сбора, утилизации, обезвреживания и хранения ПО и ТО и специализированных комплексов по их переработке;

- отсутствие современной научно-технической базы для создания специализированных объектов, технических средств, опыта и квалифицированных кадров для комплексного решения проблемы ПО и ТО.

Детальный анализ степени загрязнения территорий в зоне влияния металлургических заводов позволяет отнести их территорию к сильно загрязненной. В районах центральных промплощадок выявлены аномальные техногенные зоны, по величине показателя суммарного загрязнения почв, относящиеся к категории опасных и чрезвычайно опасных.

## 1.2 Анализ методик изучения существующих процессов гравитационного обезвоживания шламов

Пригодность металлургических шламов к утилизации, выбор технологической схемы и оборудования для обезвоживания определяются их механическими и физико-химическими свойствами. Своеобразие строения молекул воды, обладающих значительным дипольным моментом, водородными связями, оригинальностью структуры, требует внимательного изучения поведения шламовой воды в существующих технологических процессах.

В [12] показаны физико-химические свойства растворов электролитов, методы уменьшения степени гидратации и ее вредного влияния. Описано около 20 способов исследований и определения гидратных чисел с использованием свойств электролитов. На основании проведенных исследований считаем, что наиболее доступным и простым методом для определения гидратных чисел ионов является метод определения по электропроводности. Количественно электропроводность электролитов характеризуют эквивалентной электропроводностью – проводящей способностью всех ионов в 1 грамм-эквиваленте электролита.

$$\lambda = \frac{1000\chi}{C}, \quad (1.1)$$

где  $\chi$  – удельная электропроводность воды,  $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ ;  $C$  – концентрация ионов в воде, г-эquiv/дм<sup>3</sup>.

Эквивалентная электропроводность зависит от природы растворенного вещества и растворителя, структуры раствора, а также от концентрации, температуры, давления. Предельно разбавленному раствору, в котором все молекулы диссоциированы на ионы, соответствует предельное значение, по закону Кольрауша равное сумме эквивалентных электропроводностей катионов и анионов. Эквивалентная электропроводность отдельного иона пропорциональна скорости его движения и характеризует подвижность иона в растворе.

Под действием внешнего напряжения ( $H$ ) движение ионов в стационарных условиях в гидродинамической среде определяется уравнением [13]:

$$6\pi r\eta v = ZeH, \quad (1.2)$$

где  $r$  – радиус иона;  $\eta$  – вязкость среды;  $v$  – скорость движения иона;  $Z$  – заряд иона;  $e$  – элементарный заряд иона;  $H$  – величина напряжения.

При известных соотношениях  $v = HU$ ;  $e = \frac{F}{N_0}$  и для бесконечно разбавленного

$$\text{раствора } U_{\infty} = \frac{\lambda_{\infty}}{F} :$$

$$6\pi r\eta \frac{\lambda}{F} = zF/N_0, \quad (1.3)$$

Радиус гидратированного иона определяется по формуле:

$$r = \frac{zF^2}{6\pi\eta_0\lambda_{\infty}N_0}, \quad (1.4)$$

где  $\eta$  - вязкость среды;  $r$  - радиус иона;  $v$  - скорость движения иона;  $F$  - число Фарадея;  $N_0$  - число Авогадро;  $\lambda_{\infty}$  - эквивалентная электропроводность иона при бесконечном разбавлении;  $z$  - заряд иона.

Данная зависимость используется для определения размера гидратированных (сольватированных) ионов. Гидратная оболочка ионов равна разности объемов гидратированных и негидратированных ионов отнесенной к объему молекулы (моль) воды:

$$h = \frac{\frac{4}{3}\pi(r^3 - r_0^3)}{V_{H_2O}}, \quad (1.5)$$

где  $r$ ,  $r_0$  - радиусы соответственно гидратированного и негидратированного ионов;  $V_{H_2O}$  - объем молекулы воды, 12,2 Å.

Использование постоянного электрического тока дает возможность более полно удалить влагу из пористого пространства в процессе гравитационного осаждения за счет уменьшения радиуса гидратированных ионов. Твердое тело, образующее капиллярную систему, может быть сплошным или образованным из отдельных соприкасающихся между собой частиц. Поры и капилляры в таких

системах могут иметь цилиндрическую, щелевидную или иную форму и быть прямыми или извитыми, а также располагаться отдельно или сообщаться между собой.

В [14] пористые тела рассматривают как диафрагмы, или мембраны, причем под диафрагмами обычно подразумевают относительно крупнопористые перегородки значительной толщины, обладающие известной жесткостью, тогда как термин «мембраны» относится преимущественно к эластичным, тонким пленкам с порами коллоидных и молекулярных размеров. Условность и различие в терминологии отдельных исследователей позволяет считать эти термины равнозначными.

Однако, если скелет капиллярной системы является сплошным телом, капиллярные системы обозначают как «жесткие». Когда же капиллярные системы образованы отдельными, соприкасающимися между собой частицами твердого тела, они именуется порошковыми системами.

Тонкие пленки жидкости на поверхности пор твердого тела обладают аномальными свойствами, отличающимися от свойств жидкости в объеме. Так, например, пленка жидкости обладает модулем упругости, характерным для твердого тела. Такие поверхностные слои воды поверхности частиц твердой фазы оказывают на них расклинивающее действие. Изучение природы расклинивающего давления описано в классических работах [15-16], где показано, что это явление объясняется наличием двойного электрического слоя на поверхности частиц шлама. При достаточно близком расположении друг от друга поверхностей, имеющих одинаковый по знаку и строению двойной слой ионов, периферийные части обоих ионных слоев взаимно перекрываются. При этом появляются силы взаимного электрического отталкивания, раздвигающие частицы.

Из ионной природы двойного слоя на поверхности частицы твердой фазы следует необходимость существования в растворе ионных пар, или диполей, способных определенным образом ориентироваться по отношению к границе раздела. Это обычно подразумевает адсорбцию ионов одного знака заряда на поверхности твердой частицы и диффузию противоионов в водном растворе.



Плотность зарядов на границе твердого тела при переходе в жидкость падает. Данное падение можно рассматривать как функцию положения границы скольжения между твердым телом и жидкостью. Обычно его характеризуют электрокинетическим  $\xi$  - потенциалом твердой фазы.

Шламы аглодоменного производства разделяются на два вида: железосодержащие, состоящие в основном из оксидов железа ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) и являющиеся ценным вторичным сырьем, и прочие шламы, не содержащие железа в промышленных концентрациях. Гранулометрический состав шламов играет основную роль в процессах их улавливания, обезвоживания и дальнейшего использования.

Один из ведущих исследователей процессов, происходящих в суспензиях, академик Ребиндер, воду в составе суспензий подразделяет на химически связанную (входящую в кристаллическую решетку материала), адсорбционную (мономолекулярный слой), капиллярно связанную и свободную (заполняющую объем пор и каналов) [17].

Свободная влага, заполняющая пространство, образованное в результате неплотной укладки крупных частиц, удаляется из осадков при гравитационном уплотнении. Капиллярная влага, содержащаяся в порах и каналах уже сформированного осадка, может быть удалена путем механического или химического воздействия на него. Адсорбционную влагу, удерживаемую на поверхности частиц, удаляют путем внешнего влияния на диффузную часть двойного слоя, то есть за счет изменения величины  $\xi$  - потенциала. Кристаллизационная влага, входящая в кристаллическую решетку [18], обычно удаляется термическим воздействием.

На количественный, качественный и гранулометрический состав шламов влияет множество факторов – режим работы технологического оборудования, качество и состав исходных материалов, ассортимент производимой продукции. В гидрогеологии для характеристики способности рыхлых пород физически связывать влагу. В работе [19] предложено понятие максимальной влагоемкости  $\omega_{\text{м.м.в.}}$ . Величина  $\omega_{\text{м.м.в.}}$  выражается, как и влажность вообще, в процентах от массы частиц:

$$\omega_{\text{м.м.в.}} = \frac{g_1 - g_2}{g_2} 100, \quad (1.6)$$

где  $g_1$  – масса навески шлама, в порах которого содержится максимальное количество физически связанной влаги;  $g_2$  – масса той же навески после сушки при температуре 105 °С.

Величина максимальной молекулярной влагоемкости для фракций 0,05 - 1 мм равна 2-3 %, для фракций от 0,005 до 0,05 мм - 15-20 %, для фракций менее 0,005 мм достигает 35 % и более. Свободная или гравитационная влага находится вне влияния сил притяжения со стороны частиц. Она способна перемещаться под действием сил тяжести.

На способность осадков к фильтрации, существенно влияют процессы взаимного обмена катионов, содержащихся в осадках и воде. Способность к фильтрации возрастает при наличии катионов Са и Mg и уменьшается в присутствии катионов Na и К. Свойство Na в десятки и сотни раз уменьшать степень фильтрации осадков образованных частицами с фракцией  $\leq 0,005$  мм, широко используется на практике для сокращения потерь воды из водохранилищ [20].

Вопрос о связи воды с твердой фазой является одним из наиболее важных, т. к. обуславливает исходную влажность и водоотдающую способность осадка и позволяет определить возможность применения конкретных методов его подготовки и обезвоживания. Свойства влажных осадков определяются такими характеристиками, как общая пористость, удельная поверхность твердой фазы и иловый индекс [21]. В основе методик определения этих характеристик лежит классификация Ребиндера, основанная на энергетической теории связи воды с твердой фазой. Это дает возможность провести расчет фильтрационных характеристик осадка - коэффициента фильтрации и предельной степени обезвоживания [22].

Металлургические шламы по физико-механическим свойствам можно сравнить с горными породами и грунтами. В геологической практике определяющими признаками устойчивости и прочности грунтов являются: наличие

внутренних связей в грунтах и характер этих связей; отношение грунтов к воде и их водоустойчивость; технические свойства грунтов. Основными свойствами, определяющими отношение шламов к воде, считают: влагоемкость, капиллярность и водопроницаемость. Понятие степени водопроницаемости используют для определения объема притока воды, оценки объемов воды, выделяемой при фильтрации, решения вопросов сушки и др.

Коэффициент фильтрации определяет способность шламов фильтровать воду в большем или меньшем количестве в единицу времени с большей или меньшей скоростью. Имеется два различных значения для выражения коэффициента фильтрации - объемное и скоростное. Первое значение - объемное показывает объем воды, протекающей в единицу времени через слой шлама, при градиенте напора столба жидкости, равном единице.

Второе значение показывает скорость фильтрации воды при градиенте напора столба жидкости, равном единице. В инженерно-геологической и гидрогеологической практике пользуются скоростным выражением коэффициента фильтрации. Для определения коэффициента фильтрации известен целый ряд лабораторных методов. Коэффициент фильтрации определяют с помощью специальных приборов на образцах естественной или нарушенной структуры и, косвенным путем, по гранулометрическому составу и пористости шламов или через определение времени, необходимого для сжатия грунта при данной нагрузке.

В зависимости от употребляемых приборов лабораторные определения могут быть разделены на 2 группы. Первую представляют приборы, которые при определении коэффициента фильтрации позволяют учесть влияние нагрузки: компрессионно-фильтрационные приборы Гуменского, Маслова и др. Вторую группу составляют приборы, определение коэффициента фильтрации в которых производится без учета влияния нагрузки (приборы Каменского, Тима и др.) [23].

Простым методом определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов является метод, разработанный Каменским (трубка Каменского) [24, 25]. На утрамбованный и насыщенный водой песок наливают сверху воду до уровня на 1-2 см выше нуля. Затем трубку быстро приподнимают над батарейной банкой и

закрепляют на штативе. Засекают секундомером время прохождения уровня воды в трубке от деления «0» до деления «5». Замеряют температуру воды. На основании полученных данных вычисляют коэффициент фильтрации по формуле:

$$K = \frac{l}{t} f\left(\frac{S}{h}\right), \quad (1.7)$$

где  $K$  – коэффициент фильтрации в см/с;  $l$  – длина пути фильтрации, см;  $t$  – время понижения уровня воды в трубке от деления «0» до деления «3» или «5», с;  $S$  – понижение уровня воды в трубке в см за время  $t$ , с;  $h$  – первоначальный напор, см.

Недостатком известного метода является то, что он разработан для изучения коэффициента фильтрации песков, которые обладают сравнительно высокой пористостью и водопроницаемостью.

Шламы металлургических предприятий состоят из различных фракций с преобладанием илистых частиц с размерами  $\leq 0,05$  мм, имеющие низкую водопроницаемость. Такие осадки способны удерживать адсорбционную воду, т.е. воду, заполняющую пустоты и поры и находящуюся на поверхности частиц осадка в виде пленок или капель, что затрудняет фильтрацию.

Известна технология фирмы «Син ниппон» [26], которая была разработана для отделения наиболее тонкой фракции (содержащей соединения  $Zn$ ) с помощью гидроциклона. Сгущенный шлам направляют в вакуум-фильтры, затем в окомкователь для получения окатышей (1-5 мм) и далее – на агломашину. Слив гидроциклонов с содержанием твердого 2 % направляют в отстойники, откуда шлам с концентрацией твердого 9 % подают в фильтр-пресс, а осветленную воду возвращают в первичный отстойник. Недостатком данной технологии является использование механического обезвоживания шламов.

Разработана технология использования шламов доменного, мартеновского, конвертерного и электросталеплавильного производств на Челябинском металлургическом комбинате (Российская Федерация). Отделение подготовки к утилизации железосодержащих шламов работает по схеме: шламы из радиальных

отстойников после сгущения поступают в вакуум-фильтры и затем - в сушильные барабаны; затем шламы подают на аглофабрику. Данная технология также имеет ряд недостатков связанных с повышением затрат на энергоресурсы, связанные с механическим обезвоживанием и дополнительным подсушиванием шламов.

Известно, что использование шламов в качестве компонента аглошихты осложняется нестабильностью их химического и гранулометрического состава. Это требует разработки технологии рекуперации этих материалов в каждом конкретном случае. Институтом «Уралмеханобр» (г. Екатеринбург, Российская Федерация) совместно с Карагандинским металлургическим комбинатом (г. Темир-тау, Казахстан) разработана новая технология утилизации железосодержащих шламов в аглопроизводстве [27-30]. По предложенной схеме шламы аглофабрик, подбункерных помещений доменных печей, сгущают и обезвоживают на вакуум-фильтрах. Обезвоженные продукты подают в шихтовое отделение аглофабрики, что вызывает отрицательные последствия.

По данной технологии шламы после двухстадийного сгущения с содержанием твердого 40-50 % подают в распыленном виде в первичные смесители аглошихты вместо технической воды. В результате шлам достаточно равномерно распределяется в объеме аглошихты, вся шихта увлажняется до необходимого уровня при значительном сокращении расхода технической воды.

Определенное внимание уделяется внедрению малоотходных технологий на комбинате «Северсталь» г. Череповец. В 2002 г. здесь образовалось более 7400 тыс. т ПО, из них утилизировано 6200 тыс. т (без утилизации - Zn и др. металлов), складировано 1034,5 тыс. т [31-34]. Новолипецкий металлургический комбинат (НЛМК), г. Липецк, РФ приступил к переработке железо-цинкосодержащих шламов. Ранее шламы, содержащие более 60 %, как правило, не находили дальнейшего применения. Их складировали и естественным образом высушивали в ШН. Технология направлена на использование шламов в качестве железосодержащей добавки для производства агломерата [35]. Использование ШН большой площади не обеспечивает экологической безопасности технологического процесса.

Разработанная Криворожским Техническим Университетом технология утилизации шламов систем газоочистки металлургического комбината «Арселор Миттал Кривой Рог» позволяет на модульной установке ДСУ-200 с последующей гидравлической доработкой тонкого продукта выделить металлическое железо, магнетитовый концентрат, чистый порошок (до 70 %  $Fe_{\text{общ}}$ ) оксидов железа, богатый известью и магнезией флюс, тяжелый пиритный продукт [36].

В комплекс подготовки отходов входят: корпус обезвоживания шламов, поступающих из оборотного цикла газоочисток; корпус смешивания обезвоженных шламов с сухими отходами; склад готовой продукции. В корпусе обезвоживания установлено 12 фильтр-прессов ФПАКМ-25. Все фильтр-прессы разделены на 3 технологические линии, обслуживаемые ленточным конвейером, предназначенным для подачи кека в корпус смешения. Данная технология требует значительных затрат на механическое обезвоживание шламов связанных с обслуживанием и эксплуатацией сложного оборудования.

Известковая пыль после дозировки из бункеров укладывается на слой кека и конвейерами подается в смесители, где происходит химическое обезвоживание шламов. После смешивания сыпучая шламо-известковая шихта имеет влажность до 20 %. Экономические показатели установки не выдерживали нормативных сроков окупаемости [37-41].

Перечисленные выше методики и технологии имеют ряд существенных недостатков с точки зрения решения экологических, социальных и экономических проблем, точности измерений, технологии переработки сырья, снижения удельных энергозатрат.

Такая ситуация требует принятия новых концептуальных решений по использованию вторичных источников минеральных и энергетических ресурсов, что позволит значительно улучшить экологическую безопасность промышленных регионов, стратегическую экономическую безопасность Украины, технико-экономические показатели предприятий добывающей и перерабатывающей промышленности и состояние ОПС.

Актуальность решаемой проблемы заключается в устранении недостатков существующих технологий, разработке новой экологически безопасной технологии производства высокосортной продукции, их внедрении на металлургических заводах, сокращении объема лежалых ПО, снижении степени загрязнения ОПС, сокращении энергозатрат и экономии природных ресурсов.

Особо важным достижением можно считать решение крупных социально-экологических проблем регионов Украины с напряженной экологической обстановкой.

По результатам анализа сформулированы следующие задачи исследований:

- обеспечение экологической безопасности при разработке новых рациональных технологий переработки крупнотоннажных отходов металлургического производства, в частности путем обработки их постоянным электрическим током при переменных температурах;

- устранение недостатков существующих методов обезвоживания металлургических шламов, сокращение объема лежалых шламов в шламонакопителях;

- сокращение энергозатрат и экономия первичных природных ресурсов при переработке крупнотоннажных отходов металлургического производства;

- изучение физико-химических свойств перерабатываемых и обезвоживаемых шламов.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы явилось обеспечение экологической безопасности в районах размещения крупнотоннажных отходов газоочисток металлургических заводов путем разработки на базе теоретических и экспериментальных исследований технологий и оборудования по предотвращению экологически опасного воздействия на нее шламонакопителей агломерационного и доменного производства.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- изучение химического состава шламов агломерационного и доменного производства металлургического комбината «Запорожсталь»;
- теоретическое исследование процесса обезвоживания металлургических шламов;
- изучение кинетики и выявление закономерностей процесса электрообработки обезвоживаемых шламов агломерационного и доменного производства при изменяемых температурах;
- разработка на базе теоретических и экспериментальных исследований процесса гравитационного обезвоживания шламов с обработкой их постоянным электрическим током при изменяемых температурах;
- исследование и оптимизация параметров технологии и оборудования разработанной экологически безопасной технологии гравитационного обезвоживания шламов с обработкой их постоянным электрическим током при изменяемых температурах;
- разработка промышленной технологии и установки для гравитационного обезвоживания шламов с обработкой их постоянным электрическим током при изменяемых температурах, без классификации по гранулометрическому составу;
- расчет и анализ технико-экономической эффективности реализации разработанных процессов и оборудования, повышающих экологическую безопасность в районах размещения крупнотоннажных отходов – шламов газоочисток металлургического производства;
- оценка степени повышения экологической безопасности ОПС в районе металлургического комбината «Запорожсталь» в результате выполненных разработок.

Объект исследования. Влияние шламонакопителей агломерационного и доменного производства на окружающую среду.

Предмет исследования. Снижение экологически опасного воздействия на окружающую природную среду шламонакопителей крупнотоннажных отходов газоочисток агломерационного и доменного производства путем комплексного влияния постоянного тока и температуры.



## РАЗДЕЛ 2

### ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 2.1 Характеристика металлургических железосодержащих шламов

##### 2.1.1 Характеристика шламов газоочисток доменных печей

Выделение в доменном процессе азота аммонийного, роданидов из кокса, а также извести и щелочных компонентов из шихты приводит к увеличению рН шламовой воды до 9, ее меньшей агрессивности, взвешенные частицы обладают высокой плотностью от 3 до 3,6 кг/дм<sup>3</sup>, поэтому легко осаждаются под действием гравитационных сил. Гранулометрический состав шламов газоочисток доменных печей установленный с помощью фотоседиментометра приведен в табл. 2.1.

Таблица 2.1 - Гранулометрический состав шламов газоочисток доменных печей

Размер фракций, мкм	>70	40-70	10-40	4-10	2-4	1-2	<1
Содержание, % масс	5	10	19	11	13	21	21

Полидисперсная смесь таких шламов имеет гидравлическую крупность в воде  $U_0=0,15$  мм/с для концентрации взвешенных частиц до 2 %;  $U_0=0,25$  мм/с для концентрации взвешенных частиц до 3 %;  $U_0=0,6$  мм/с для концентрации взвешенных частиц до 95 %.

Химический состав шламов, представленный в основном гидроксидами и оксидами железа, приведен в табл. 2.2. Компоненты песка ( $SiO_2$ ) - оксид алюминия попадают в шихту с золой кокса, оксид кальция – из извести шихты, углерод остается от неполного сгорания кокса и карбонатных соединений Ca и Mg, потери при прокаливании включают кристаллизационную и реакционную влагу и  $CO_2$ .

Сточные воды имеют следующие характеристики: рН – 8,3; щелочность – 8,0 - экв/дм<sup>3</sup>; жесткость – 8,0 мг-экв/дм<sup>3</sup>; Ca<sup>2+</sup> – 5,0 мг-экв/дм<sup>3</sup>; Mg<sup>2+</sup> – 3,0 мг-экв/дм<sup>3</sup>; Cl<sup>-</sup> – 365 мг/дм<sup>3</sup>; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> -676,0 мг/дм<sup>3</sup>; сухой остаток – 972 мг/дм<sup>3</sup>.

Таблица 2.2 - Химический состав шламов газоочисток доменных печей

Компоненты	Fe <sub>общ</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C	Потери при прокаливании
Содержание основных компонентов, % масс	50-57	11,8	1,0	10,8	1,3	10,3	10,7

### 2.1.2 Характеристика шламов газоочисток аглоцеха

Шламы газоочисток аглоцеха значительно тяжелее шламов газоочисток доменных печей и имеют плотность до 4,7 т/м<sup>3</sup> при большей крупности фракций (табл. 2.3). Полидисперсная смесь таких шламов имеет гидравлическую крупность в воде  $U_0=0,2$  мм/с для 3 % концентрации взвешенных частиц;  $U_0=0,3$  мм/с – для 4 % концентрации взвешенных частиц;  $U_0=1,0$  мм/с для 93 % концентрации взвешенных частиц. Химический состав шламов, состоящих в основном из гидроксидов и оксидов железа, приведен в табл. 2.4.

Таблица 2.3 - Гранулометрический состав шламов газоочисток аглоцеха

Размер фракций, мкм	>250	250-150	150-50	50-40	40-30	30-20	20-10	10-5	<5
Состав, %	3	11	20	13	14	14	12	7	6

Таблица 2.4 - Химический состав твердой фазы шламов газоочисток аглоцеха

Компоненты	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C	ппп
	8,7	51,8	14,1	1,3	9,3	1,1	8,3	5,7

Сточные воды газоочисток аглоцеха приобретают высокие значения pH, жесткости и щелочности в результате выщелачивания основного количества извести из шихты. При этом магний связывается в стойкий гидроксид в виде очень мелких взвешенных частиц, оседает и удаляется из водной фазы. Химический состав шламовой воды аглоцеха, мг/дм<sup>3</sup>: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - 156,1; Cl<sup>-</sup> - 292; pH – 11,1. Показатели щелочности, жесткости, содержания Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> мг-экв/дм<sup>3</sup>, соответственно: 4,7-6,2; 13,9; 13,5; 0,4. Сухой остаток - 1168 мг/дм<sup>3</sup>.

Гранулометрические и химические составы шламов приведены в табл. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4. Объем осадков, выделяемых при очистке сточных вод мокрых газоочисток агломерационного и доменного производств при влажности 85-99,9 % масс. может составлять 0,1 - 0,5 % объема сточных вод. В общем случае на объем осадка влияют исходное содержание твердого в сточных водах, значение pH среды, продолжительность пребывания осадков в ШН [42].

## 2.2 Методические принципы постановки исследований

В основу подбора известных методик теоретических и экспериментальных исследований и разработки оригинальных положен методологический принцип, в соответствии с которым экологически безопасное природопользование обеспечивается в условиях, когда объем образующихся ПО не превышает возможностей их переработки, утилизации, обезвреживания и уничтожения.

Общий методологический подход к выполнению исследований построен на анализе научно-технической литературы, предварительного научно-технического опыта автора, с многолетним стажем работы в области водоподготовки

металлургических предприятий. Проведено построение теоретических и экспериментальных исследований для проверки выдвинутых предположений и их внедрения в новые научно-технические и практические разработки. Ниже описан ряд методик, разработанных в настоящей работе при ведении исследований, перечислены известные использованные методики.

Таблица 2.1 - Методики исследований, использованные в разделах работы

Раздел работы	Наименование методики исследований
Раздел 3	<p><u>Примененные известные методики</u></p> <p>Методика определения концентрации ТРМ в жидкостях.</p> <p>Методы планирования экспериментов и корреляционного анализа экспериментальных данных. Гравиметрический метод определения количества взвешенных веществ в жидкостях.</p> <p>Методики определения рН среды в жидкостях. Методика определения электротехнических параметров электрохимической обработки растворов.</p> <p>Методика математического моделирования процессов.</p>
Раздел 4	<p><u>Примененные разработанные в работе методики</u></p> <p>Методика определения способности воды к фильтрации через слой осадка под действием постоянного электрического тока.</p> <p>Методика определения электрокинетических явлений, возникающих при гравитационном обезвоживании шламов под воздействием постоянного электрического тока</p>
Раздел 5	<p><u>Примененные известные методики</u></p> <p>Методика расчета размера ущерба от поступления загрязнений в водные объекты. Методика определения платы за сброс сточных вод полигона промышленных отходов в водные объекты</p>

Таблица 2.2 - Приборы для выполнения исследований в диссертационной работе

Название	Функциональное действие	Количество
“Спектроскан”	Для рентгеноспектрального экспресс-анализа неорганических элементов /металлов и металлоидов в жидкостях, газах и твердых веществах/	1
Спектрофотометр атомно-абсорбционный С-600	Объект исследований – катионы тяжелых металлов и др.	1
РН-метр/кондуктометр METTLER TOLEDO MPC 22	Для измерения рН и электропроводности воды и водных растворов веществ	1
Атомно-абсорбционный спектрометр (Hitachi, Япония)	Определение неорганических соединений, в т. ч. тяжелых металлов.	1
Спектрофотометр (Perkin-Elmer, США)	Определение неорганических и органических соединений в ИК–диапазоне	1
Спектрофотометр Spacol, Carl Zeiss, Jena, Германия	Определение неорганических и органических соединений	1
Седиментационные весы «Сарториус 4600».	Определение дисперсного состава пылей и твердой фазы шламов газоочисток	1

Термогравиметрические исследования осуществляли на дериватографе «Паулик Эрдэи» фирмы «МОМ» (Венгрия). Нагрев проб вели в платиновых тиглях со скоростью 10 ° С/мин в диапазоне температур  $T = 20 \div 1000$  ° С. Фиксировали изменение температуры исследуемого образца (кривая Т дериватограммы), его

массы (кривая ТГ), наличие экзо- и эндотермических эффектов (кривая ДТА), скорость изменения массы вещества (кривая ДТГ).

Определение дисперсного состава твердой фазы шламов осуществляли с использованием седиментационных весов мод. «Сарториус-4600» (Германия) по методике данной компании, описанной в [43]. Распределение измельчаемого вещества по размерам определяли на оптическом микроскопе «Карл Цейс. Йена» (Германия) при 180÷320-кратном общем увеличении и структурном анализаторе «Эпиквант» (Российская Федерация) по методикам [44-45]. Другие использованные известные и разработанные методики приведены в табл. 2.1.

### 2.3 Методики определения электрокинетических свойств суспензий

В диссертационной работе разработаны новые приборы для определения электрокинетических свойств исследуемых шламов [46, 47]. Прототипом взят прибор для исследования белков Тизелиуса, Мак-Иннеса и Лонгсворда [13].

Тизелиус, Мак-Иннес, Лонгсворд и др. исследователи усовершенствовали методику применения электрофореза к анализу сложных коллоидных систем. Тизелиус сконструировал прибор, основная часть которого состояла из U-образной трубки, нижняя и средняя части заполнялись исследуемым раствором белков, а верхняя буферным раствором. В средней части прибора имелось специальное приспособление для смещения отдельных частей трубки на шлифах в горизонтальном направлении.

Хлорсеребряные электроды отводились в боковые сосуды, наполненные концентрированным раствором КСl. Для подавления теплового эффекта прибор помещался в низкотемпературный термостат. Для выделения отдельных чистых фракций белков, обладающих различными электрофоретическими скоростями, Тизелиус применял принцип противотока.

После установки прибора в исходное положение включали электрическое поле. Направление поля таково, что частицы белков, имеющих одинаковый знак

заряда, но различную скорость смещения, передвигались слева направо. При этом частицы, имеющие наибольшую электрофоретическую скорость, скапливались в правой части трубки, а имеющие меньшую скорость отставали и скапливались в левой части трубки. Таким образом, определялась граница разделения движущейся фракции белка.

Недостатком известного устройства является то, что оно разработано для изучения электрокинетических свойств белков и не может быть применено для исследования электрокинетических процессов происходящих при фазовом разделении производственных сточных вод потому, что взвешенные частицы (составляющие твердой фазы), по плотности во много раз превышают белковые структуры и обладают относительно низкими электрофоретическими скоростями, что делает невозможным их выделение на данной установке.

Известны современные установки для изучения электрокинетических свойств частиц основанные на методах лазерной доплеровской интерферометрии, фотонно-корреляционной спектроскопии и электрофоретическом светорассеянии [48-53]. Но их в данной работе из-за своей недоступности не применяли.

#### 2.4 Методика определения электрокинетических свойств твердых частиц шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха

К определяемым электрокинетическим свойствам частиц относятся: удельная электропроводность суспензии, скорость осаждения частиц, величина электрокинетического потенциала [54]. Эти величины вычисляют по показателям, контролируемым в ходе опытов на лабораторной установке. Конструкционные особенности установки позволяют проводить опыты в широком диапазоне температур, химического состава и концентрации растворов, различных напряжений постоянного тока. Простота конструкции установки и метода подготовки проб позволяют в короткие сроки составить представление о свойствах изучаемой суспензии. Химический и гранулометрический состав взвешенных частиц шламов неоднороден, предлагаемый метод изучения их электрокинетических свойств дает

возможность определить свойства всей массы частиц. В нашем случае использовали образцы шламов, взятые из действующего оборотного цикла металлургического комбината «Запорожсталь».

Экспериментальные исследования по электрообработке сточных вод проводили с использованием описанной ниже разработанной автором методике. Схема установки приведена на рис. 2.1, а общий вид на рис. 2.2. Суспензии готовили по следующей методике. Концентрацию взвешенных частиц в пробе доводили до 300-400 г/дм<sup>3</sup>.

Учитывали планируемое количество экспериментов. Т. к. химический и гранулометрический состав сточных вод нестабильны, то отбирали количество суспензии (исходный образец), позволяющее вести все запланированные исследования – более 10 отдельных экспериментов с изменением факторов (например: температуры, напряжения) влияющих на процесс осаждения и уплотнения взвешенных частиц;

1. Из исследуемого объема суспензии отбирали пробы объемом 0,5 дм<sup>3</sup>, объем пробы обусловлен геометрическими размерами лабораторного цилиндра: диаметр 40 мм, высота 540 мм, толщина стенки 1мм.

2. Концентрацию взвешенных веществ в пробах устанавливали путем тщательного взвешивания всех проб и доведение их до равной массы.

3. Каждую пробу доводили до заданной температуры в термостате.

4. Перед размещением пробы суспензии в лабораторной установке осевший осадок взвешенных частиц перемешивали лопастной мешалкой, до образования однородной суспензии. После подготовки, пробы помещали в лабораторную установку (рис. 2.1) [55]. В ультратермостате поддерживали заданную температуру, после чего на электроды накладывали разность потенциалов.

В ходе проведения эксперимента фиксировали положение границы расслоения суспензии и измеряли путь, который она проходит за каждые 10 мин эксперимента в течение 1 часа. Фиксировали величину проходящего электрического тока.



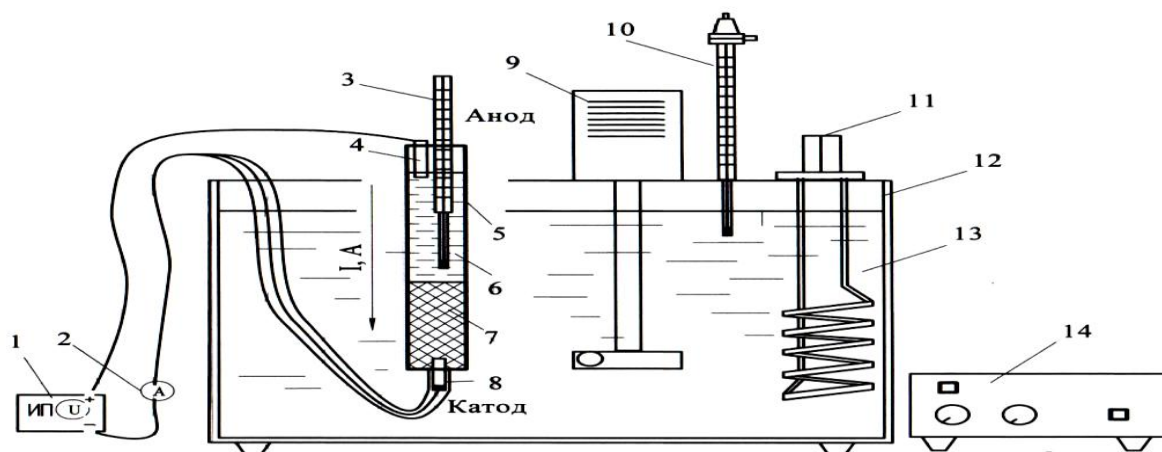


Рисунок 2.1 - Схема лабораторной установки для исследования электрокинетических свойств суспензии: 1 - источник питания постоянного тока; 2- амперметр; 3- термометр; 4 - положительно заряженный анод; 5 – лабораторный цилиндр; 6 – исследуемая суспензия; 7 – осадок; 8 – изолированный отрицательно заряженный катод; 9 - радиальный насос типа 644/А; 10 – контрольный термометр; 11 – нагреватель; 12 – ультратермостат типа 657 (система сосуд); 13 – термостатирующая жидкость; 14 – регулятор типа 1031

Разработанная методика проведения эксперимента предполагает фиксацию параметров суспензии: количество взвешенных частиц в объеме жидкости, ее объем, химический состав, температуру в течение всего времени проведения каждого отдельного эксперимента. Изменяемыми факторами являются: температура сточных вод и напряжение постоянного тока.

Отбор образцов производили непосредственно из ванны действующего вакуум-фильтра. Полученный образец разделяли на пробы фиксированным объемом  $0,5 \text{ дм}^3$  массой 600 г (200 г шлама, 400 г шламовой воды). Для повышения температуры суспензии до  $40^\circ \text{C}$  или  $60^\circ \text{C}$  пробу суспензии в мерной колбе помещали в емкость с водой, установленную на электроплите.

Подготовленную пробу из мерной колбы помещали в лабораторный цилиндр (рис. 2.1, 2.2) для исследования скорости осаждения взвешенных частиц и степени

уплотнения осадка. Лабораторный цилиндр (поз. 5) – это емкость диаметром 40 мм толщиной стенки 1 мм, выполненная из термостойкого стекла. В днище емкости герметично установлен электрод, выполненный из графита (поз. 8), провод подводящий напряжение к электроду защищен гибкой трубкой ПВХ для предотвращения контакта с термостатирующей жидкостью (поз. 13). На наружной стенке емкости закреплена шкала с делениями через 1 мм для определения скорости перемещения границы раздела фаз суспензии.

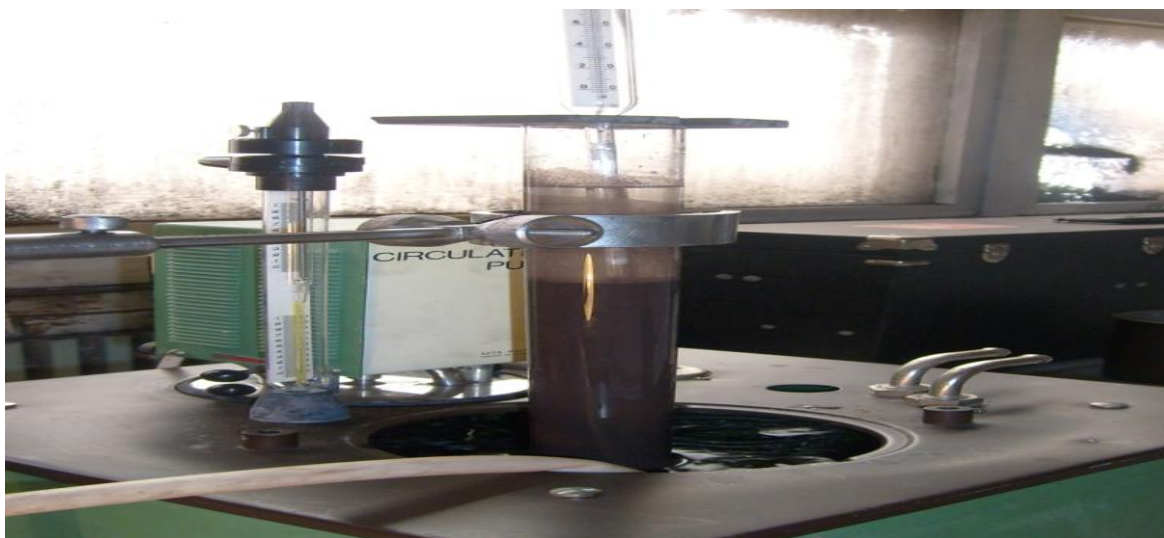


Рисунок 2.2 - Фотография лабораторной установки

Лабораторный сосуд на время эксперимента помещали в ультратермостат (поз. 12) для поддержания постоянной температуры, состоящий из внешнего кожуха, теплоизолированного сосуда и крышки из легкого металла. На крышке смонтированы нагреватель контактный (поз. 11), контрольный термометр (поз. 10), радиальный насос (поз. 9) типа 644/А. Для привода насоса служит асинхронный двигатель. Производительность насоса регулируется рукояткой. Ультратермостат управляется двухпозиционным регулятором (поз. 14) тока сети, протекающего через нагреватель от управляющего сигнала контактного термометра. Входная мощность регулируется от 10 до 90 %.

Электроды, выполненные из графита анод (поз. 3) и катод (поз. 8), расположены по вертикальной оси лабораторного сосуда. Анод вверху, катод внизу, размещение электродов позволяет совместить векторы направления гравитационных сил и постоянного тока, что значительно ускоряет расслоение суспензии.

В эксперименте фиксировали положение границы расслоения суспензии (Н, мм), измеряли путь, который она проходит каждые 10 мин на протяжении 1 час. Каждые 10 мин фиксировали силу электрического тока (I, А), рассчитывали удельную электропроводность и количество затраченной электрической энергии.

Параметром оптимизации выбрали степень уплотнения твердой фазы в шламах под воздействием температуры и напряжения постоянного электрического тока. Эксперименты проводили активным методом по планам второго порядка по программе ЦКОП (центральное композиционное ортогональное планирование). Факторами влияния на осаждение взвешенных частиц были приняты температура (20, 40 и 60 °С) и напряжение постоянного электрического тока (100, 150, 200 В).

В разработанной конструкции лабораторной установки (рис. 2.1) взвешенные частицы под влиянием гравитационных сил и действия постоянного электрического тока опускались на дно сосуда и уплотнялись. Частицы вытесняют жидкость из объема образующегося осадка снизу вверх. При этом катионы Fe, Mg, Ca, Zn под действием постоянного электрического тока движутся к катоду сверху вниз. Т. е. в случае, когда катод находится в нижней части лабораторного сосуда, степень уплотнения шламов растет.

## 2.5 Методика определения способности воды к фильтрации через слой шлама под действием постоянного электрического тока

Одним из факторов влияющих негативно на осаждение взвешенных частиц в опытах по определению степени гравитационного уплотнения осадка (раздел 3) является активное выделение газов на катоде, что вызвано электролизом водных растворов солей. Пузырьки газа растут во всем объеме осадка и движутся в поверхностный слой осветленной жидкости, что разрушает границы раздела фаз.

Поэтому конструкция установки была доработана. Внесенные конструктивные изменения позволили организовать движение вытесняемой жидкости в одном направлении. На рис. 2.3 показана схема доработанной установки. В сосуде на расстоянии 70 мм от дна установлен щелевой дренажный колпачок (поз.7) из диэлектрического материала, с размерами щелей 1-1,5 мм. Для исключения проскока взвешенных частиц (поз. 4) через щели колпачка, создали дренажный слой из прокаленного речного песка (поз. 6) фракцией  $\leq 1$  мм.

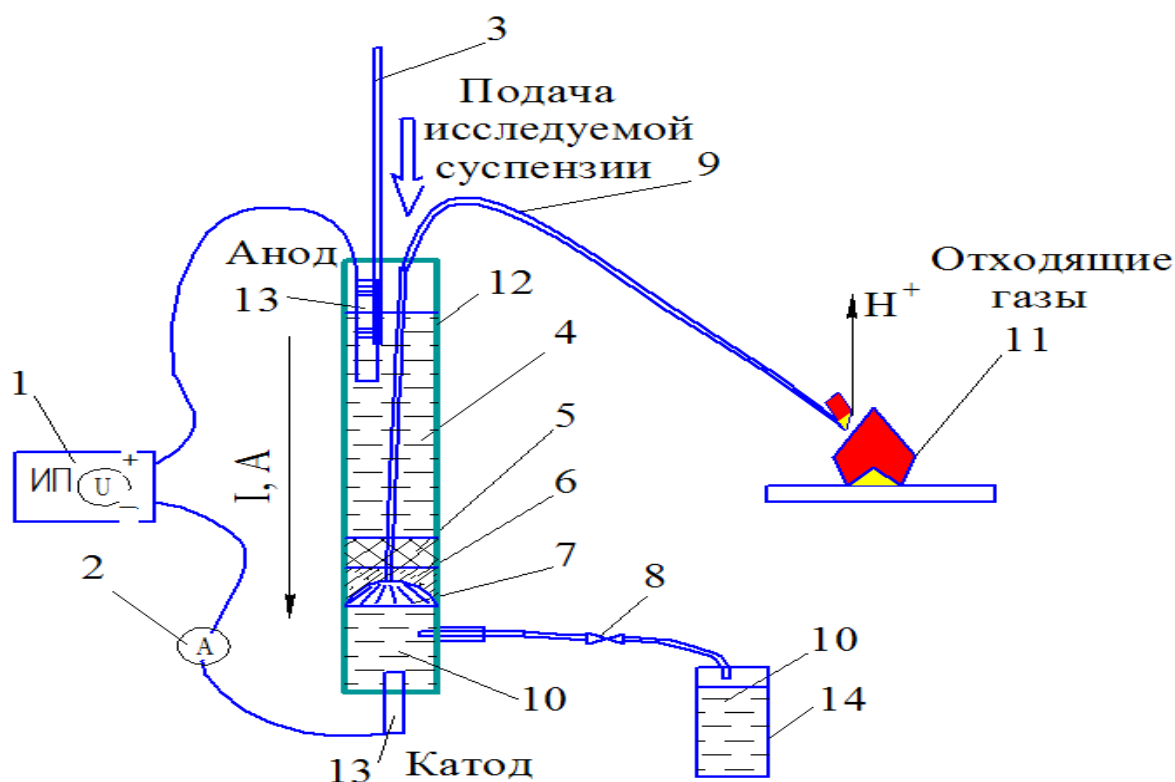


Рисунок 2.3 - Схема лабораторной установки для изучения фильтрации воды под действием постоянного тока: 1 – источник питания с вольтметром; 2 – миллиамперметр; 3 - штанга для регулирования положения электрода; 4 –суспензия; 5 - осадок; 6 - песчаный дренажный слой; 7 – щелевой дренажный колпачок; 8 - регулятор объема отводимого фильтрата; 9 – трубка отвода образующихся на катоде газов; 10 – фильтрат; 11- источник открытого пламени; 12 - мерный цилиндр; 13 – электроды; 14 - емкость для сбора фильтрата

Толщина дренажного слоя от верхней точки полусферы щелевого колпачка составила 10 мм. Для отвода газов, образующихся на катоде, из верхней точки сферы вывели трубку (поз. 9) из диэлектрического материала, ее свободный конец расположили над источником открытого пламени (поз. 11). Источник открытого пламени был применен для проверки предположения, что на катоде происходит образование водорода. Отвод осветленной жидкости (фильтрата) производили через патрубков с вентилем (поз. 8), расположенный на 20 мм ниже кромки щелевого дренажного колпачка (поз. 7). Скорость фильтрации регулировали вентилем (поз. 8) так, чтобы пространство под колпачком было постоянно заполнено фильтратом для обеспечения неразрывности электрической цепи.

Фильтрат (поз. 10) собирали в емкость (поз. 14), для проведения химического анализа. При фильтрации исходной суспензии уровень ее в сосуде понижался, соответственно электрод расположенный сверху опускали на штанге (поз. 3) по мере понижения уровня суспензии. Напряжение электрического тока регулировали источником питания (поз. 1) по показаниям встроенного вольтметра, количество проходящего тока фиксировали миллиамперметром (поз. 2). Скорость фильтрации определяли по скорости перепада уровня осветленной жидкости в мерном цилиндре (поз. 12), уровень жидкости фиксировали по шкале, на наружной стенке цилиндра, через равные промежутки времени – 300 с.

Объем фильтрата образованного за единицу времени вычисляли по формуле 2.3. Объем жидкости  $Q$ , перенесенный за единицу времени  $t$  через площадь поперечного сечения  $\omega$  ограждающих поток жидкости элементов со скоростью  $v$ , выражают формулой [56]:

$$Q = \omega v , \quad (2.1)$$

где  $\omega = \pi d^2/4$  – площадь поперечного сечения лабораторного мерного цилиндра,  $m^2$ .  $\omega = 0,001256 m^2$ ;  $v=L/t$  – скорость движения жидкости в единицу времени,  $m/s$ .

Удельная электропроводность,  $\text{Ом}^{-1}\text{см}^1$ , является величиной обратной удельному сопротивлению  $\rho$  и вычисляется по формуле [57]:

$$\chi_n = \frac{I_n \cdot L_n}{S_n \cdot U_n}, \quad (2.2)$$

где  $L$  - расстояние между электродами, см;  $S$  — поперечное сечение проводника,  $\text{см}^2$ ;  $U$  - напряжение электрического тока, В;  $I$  - сила тока, А;  $n$  – порядковый номер определения.

Проводили расчет количества электричества, Кл, необходимого для интенсификации процесса фильтрации всей жидкости, содержащейся в объеме пробы, по формуле [58], использованной автором в данных специфических условиях:

$$\sum_{n=1}^m Q_n = I_n \cdot t_n, \quad (2.3)$$

где  $I$  - сила тока, А;  $t$  – временной интервал фиксации параметра, с;  $n$  – порядковый номер временного интервала;  $m$  – номер опыта.

Для того чтобы отразить способность к водоотдаче исследуемых осадков вводим значение коэффициента фильтрации  $K_n$ . Он является показателем водопроницаемости осадков, т.е. показателем способности фильтровать через себя воду в большем или меньшем количестве в единицу времени с большей или меньшей скоростью. В соответствии с этим, можно выразить коэффициент фильтрации через объемное и скоростное значения. Первое значение объемное показывает количество воды, протекающее в единицу времени через сечение осадка, равное единице, при градиенте равном единице. При этом значении коэффициент фильтрации должен быть выражен в кубических единицах, отнесенных к единице времени ( $\text{м}^3/\text{мин}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  и т.д.). В отличие от известных параметров в формулу (2.6) автором введена величина вязкости жидкости  $\eta$ , сПз.

В инженерно-геологической и гидрогеологической практике пользуются скоростным выражением коэффициента фильтрации. Это значение  $K_n$  показывает скорость фильтрации жидкости при напорном градиенте, равном единице. Коэффициент фильтрации определяют по формуле [59]:

$$K_n = \frac{h_n \cdot s_n}{\tau_n \cdot H_n} \cdot \eta_n, \quad (2.4)$$

где  $h$  – толщина слоя осадка, см;  $s$  – перепад уровня жидкости, см, за время  $t$ , с;  $H$  – общая высота слоя жидкости, см;  $\eta$  – динамическая вязкость жидкости, спз;  $n$  – порядковый номер временного интервала.

2.6 Методика определения электрокинетических явлений возникающих при гравитационном обезвоживании шламов под действием постоянного электрического тока

Исследования процессов осаждения и обезвоживания шламов металлургического производства проводили на разработанной для этих целей установке с изучением электрокинетических явлений (рис. 2.4) [60].

Стеклянный цилиндр (поз. 1) устанавливается на подставку (поз. 2) с дренажной перегородкой (поз. 3). На дренажную перегородку (поз. 3) засыпается слой дренажной загрузки (поз. 4), состоящей из песка фракций 0,50-1,00 мм. Подставка (поз. 2) помещается в стеклянный поддон для сбора фильтрата (поз. 8). Пробу сточных вод с концентрацией твердой фазы 380-440 г/дм<sup>3</sup> готовят по методике, приведенной в подразделе 2.3. Поддон для сбора фильтрата (поз. 8) заполняется осветленной водой до уровня патрубка для отвода фильтрата (поз. 9), по которому избыточный фильтрат (поз.10) попадает в сборную емкость.

Проба сточных вод, содержащая 380-440 г/дм<sup>3</sup> взвешенных веществ, тщательно перемешивается и заливается в стеклянный цилиндр (поз. 1). Электроды (поз. 5),

состоящие из химически нейтрального материала – графита, закрепляются на поплавках и размещаются на поверхности жидкости в цилиндре (поз. 1) и на поверхности фильтрата (поз. 12) в поддоне для сбора фильтрата (поз. 8). После этого производят подключение электродов к источнику питания постоянного тока (поз. 6).

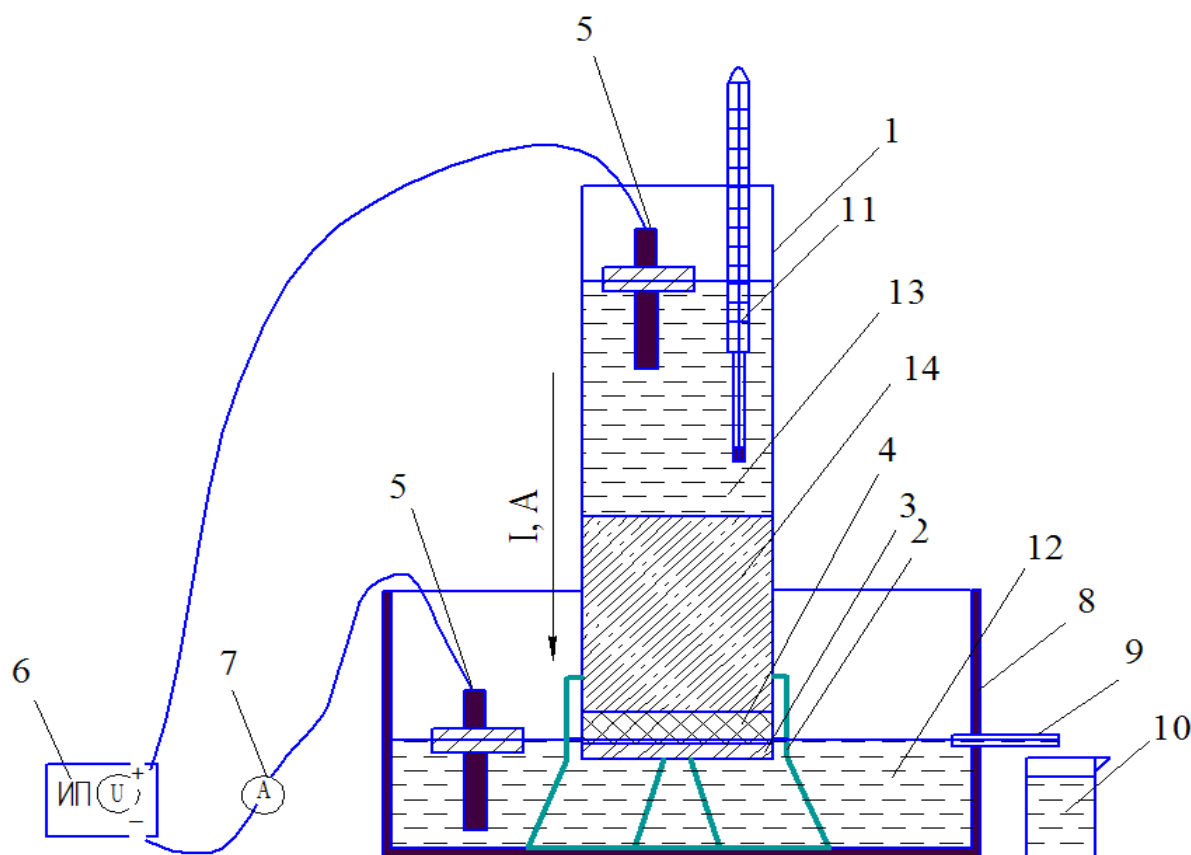


Рисунок 2.4 - Лабораторная установка для определения электрокинетических явлений возникающих в шламах при их гравитационном обезвоживании:

1 – стеклянный цилиндр; 2 – подставка; 3 – дренажная перегородка; 4 – дренажный слой из песка; 5 – графитовые электроды; 6 – источник питания постоянного тока; 7 – амперметр; 8 – поддон для сбора фильтрата; 9 – патрубок для отвода фильтрата; 10 – емкость для сбора избыточного фильтрата; 11 – термометр; 12 – фильтрат; 13 – слой осветленной жидкости; 14 – слой осадка



При наложении разности потенциалов на исследуемый образец суспензии происходит его интенсивное расслоение с образованием слоя осадка (поз. 14) на поверхности дренажной загрузки из песка (поз. 4) и слоя осветленной жидкости (поз. 13). В электрическом поле происходит уменьшение сил межмолекулярного взаимодействия частиц и жидкость начинает вытекать из пор осадка (поз. 14), т.е. происходит фильтрация.

Избыточный фильтрат (поз. 12), через патрубок для отвода фильтрата переливается в емкость для сбора фильтрата (поз. 10). Горизонтальная ось патрубка для отвода фильтрата (поз. 9) совпадает с плоскостью образующей поверхность дренажной перегородки (поз. 3). Соответственно в этой плоскости поддерживается автоматически уровень фильтрата (поз. 12), что позволяет обеспечить непрерывность постоянного электрического тока и соответственно равномерность процесса фильтрации. Эта плоскость является границей перехода жидкости (поз. 13) из осадка (поз. 14) через дренажную загрузку из песка (поз. 4) в поддон для сбора фильтрата (поз. 8), при этом используется максимально градиент гидравлического напора столба жидкости (поз. 13) над слоем осадка (поз. 14).

Используя полученные данные, определяют количества затраченной электроэнергии, электропроводности осадка, коэффициента фильтрации и электрокинетического  $\xi$  – потенциала на границе раздела фаз.

## Выводы к разделу 2

1. Рассмотрены основные физико-химические свойства железосодержащих шламов и сточных вод агломерационного и доменного производств.
2. Определен общий методологический принцип исследований в соответствии с которым, экологически безопасное природопользование обеспечивается в условиях, когда объем образующихся ПО не превышает возможностей их переработки, утилизации, обезвреживания и уничтожения.
3. Автором разработана конструкция установки и методика проведения экспериментов для изучения влияния постоянного электрического тока на скорость

гравитационного осаждения частиц, степень уплотнения осадка и величину электрокинетического  $\xi$  - потенциала на поверхности взвешенных частиц.

4. Автором разработана методика для определения коэффициента фильтрации изучаемых железосодержащих шламов, позволяющая отразить их способность к водоотдаче.

5. Разработана методика проведения экспериментов и установка для исследования электрокинетических явлений, возникающих при гравитационном осаждении шламов и фильтрации воды через осадок под действием постоянного электрического тока, позволяющая определять количество затраченной электроэнергии, электропроводность осадка, коэффициент фильтрации и величину электрокинетического  $\xi$  – потенциала на границе раздела фаз.

## РАЗДЕЛ 3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ОСАЖДЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

3.1 Исследование гравитационного осаждения шлама газоочисток доменных печей под действием постоянного электрического тока

3.1.1 Зависимость скорости сгущения дисперсной фазы суспензии от свойств двухфазного потока

Одним из основных элементов систем оборотного водоснабжения являются сооружения для очистки сточных вод. Они обеспечивают эффективное удаление взвешенных частиц, а также создают необходимые условия для прохождения и завершения различных химических реакций. Это содействует повышению стабильности воды, что особенно важно для создания оборотного водоснабжения без сброса сточных вод в водоемы. Эти требования закладывают в основу при разработке новых аппаратов и сооружений для очистки сточных вод.

Для поиска оптимальных условий флокуляционного перемешивания выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований. Процесс сгущения суспензий можно рассмотреть с общих позиций исследования движения двухфазных потоков. Уравнение движения двухмерного нестационарного двухфазного потока при отсутствии тепло- и массообмена можно записать в виде:

$$\rho(1-\alpha)\left[\frac{dU}{dt} + u \frac{dU}{dz}\right] + \rho_d \alpha \left[\frac{dU_d}{dt} + u_d \frac{dU_d}{dz}\right] = -g \left[ (1-\alpha)\rho + \alpha\rho_d \right] - \frac{dP}{dz} - \frac{d\tau}{dz}, \quad (3.1)$$

Величина  $\alpha$  определяет долю дисперсной фазы в несущей среде. При  $\alpha=0$  уравнение (3.1) совпадает с обычным уравнением движения материального потока. Уравнения неразрывности для несущей среды и дисперсной фазы, равномерно распределяемой по рассматриваемому объему суспензии:

$$\frac{d}{dt}[(1-\alpha)\rho] + \frac{d}{dz}[(1-\alpha)\rho U] = 0 \quad , \quad (3.2)$$

$$\frac{d}{dt}(\alpha\rho_d) + \frac{d}{dz}(\alpha\rho_d U_d) = 0 \quad , \quad (3.3)$$

где  $\rho$  и  $\rho_d$  - плотности несущей среды и дисперсной фазы;  $U$  и  $U_d$  - скорости движения несущей среды и дисперсной фазы;  $t$  и  $Z$  - координаты времени и длины;  $P$  – давление в системе.

Принимаем, что вязкость жидкости при взаимодействии с дисперсной фазой полностью характеризуется силой гидравлического сопротивления, перепишем систему уравнений (3.1-3.3) для стационарного процесса сгущения в виде:

$$\frac{dP}{dz} + g[(1-\alpha)\rho + \alpha\rho_d] = 0 \quad , \quad (3.4)$$

$$3\pi\mu_0 d(U - U_d) = \frac{1}{6} \pi d^3 \left[ (\rho_d - \rho)g + \frac{dP}{dz} \right] f(\alpha) \quad , \quad (3.5)$$

где  $\mu = \mu_0 [f(\alpha)]^{-1}$  - кажущаяся вязкость двухфазной среды, связанная с истинной вязкостью  $\mu_0$ .

Совместное решение системы уравнений (3.4-3.5) позволяет исключить функцию давления и получить выражение:

$$U - U_d = \frac{d^2 g (\rho_d - \rho) (1 - \alpha)}{18\mu_0} f(\alpha) - \frac{d^2 g (1 - \alpha) \rho}{18\mu_0} f(\alpha) \quad , \quad (3.6)$$

В формуле (3.6) первый член правой части содержит скорость свободного падения твердой шарообразной частицы  $U_0$ . Воспользуемся наиболее распространенной формулой, получившей экспериментальное подтверждение в широком диапазоне изменения концентрации твердой фазы (3.1-3.3):

$$f(\alpha) = (1 - \alpha)^{2,5}, \quad (3.7)$$

причем, средняя объемная скорость двухфазного потока может быть описана выражением:

$$U_{\text{ср}} = (1 - \alpha)U + \alpha U_{\text{д}}, \quad (3.8)$$

Умножив выражение (3.6) на  $(1 - \alpha)$  и, используя полученную зависимость совместно с выражением (3.8), исключим из рассмотрения скорость несущей среды  $U$ . После соответствующих преобразований получим:

$$- U_{\text{д}} = U_0 (1 - \alpha)^{4,5} - \frac{gd^2 (1 - \alpha)^{4,5} \rho}{18\mu_0} - U_{\text{ср}}, \quad (3.9)$$

На рис. 3.1. представлена зависимость относительной скорости  $U_{\text{д}}/U_0$  от концентрации твердой фазы  $\alpha$  для различных соотношений плотностей твердой и жидкой фаз.

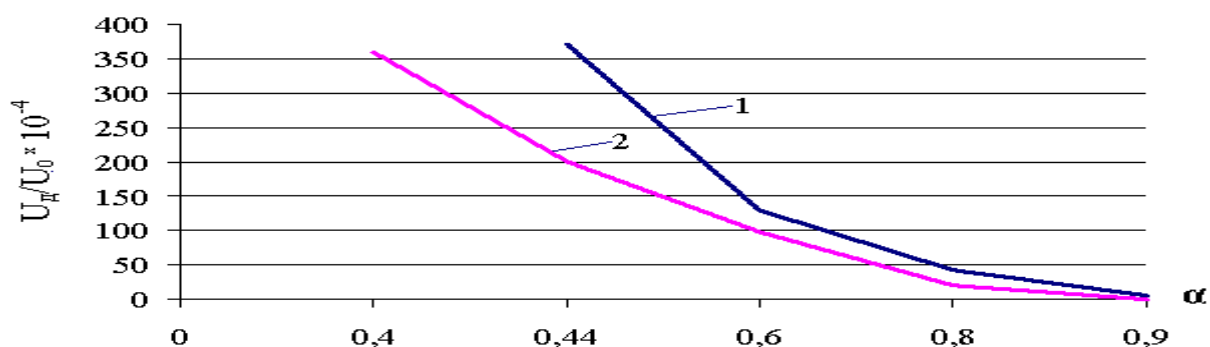


Рисунок 3.1 - Зависимость относительной скорости осаждения частиц разной плотности от их концентрации: 1 - плотность твердой и жидкой фаз, соответственно,  $1,6 \text{ г/см}^3$  и  $1,025 \text{ г/см}^3$ ; 2 - то же, соответственно,  $1,8 \text{ г/см}^3$  и  $1,04 \text{ г/см}^3$ . Концентрация твердой фазы в суспензии для кривых: 1 -  $10,3 \text{ г/дм}^3$ ; 2 -  $15,3 \text{ г/дм}^3$

При сгущении суспензий осаждение твердой фазы происходит с вытеснением жидкости, т.е. средняя объемная скорость среды будет равна нулю (минус перед  $U_d$  показывает, что вектор скорости осаждения направлен вниз).

При нестационарном движении двухфазного потока с учетом допущений, изложенных выше, уравнения (3.1) и (3.5) с учетом уравнения движения отдельной частицы в соответствии с законом Стокса можно представить следующим образом (3.1-3.3):

$$\rho(1-\alpha)\frac{dU}{dt} + \rho_d\alpha\frac{dU_d}{dt} = -g[(1-\alpha)\rho + \alpha\rho_d] - \frac{dP}{dz}, \quad (3.10)$$

$$\frac{1}{6}\pi d^3\rho\frac{dU_d}{dt} = 3\pi d\mu(U - U_d) - \frac{1}{6}\pi d^3(\rho_d - \rho)g - \frac{1}{6}\pi d^3\frac{dP}{dz}, \quad (3.11)$$

Рассматривая сгущение суспензии как процесс осаждения в ней твердой фазы, положим, что  $U_{cp} = 0$  и получим:

$$\frac{dU_d}{dt} + SU_d - \psi = 0, \quad (3.12)$$

где

$$S = \frac{18\mu_0}{[\rho - \alpha(\rho_d + \rho)](1-\alpha)d^2};$$

$$\psi = \frac{[(1-\alpha)\rho + \alpha\rho_d]g}{\rho - \alpha(\rho_d + \rho)}.$$

Решение уравнения (3.12) при начальных условиях  $U_d = 0$  при  $t = 0$ :

$$U_d = \frac{gd^2[(1-\alpha)\rho + \alpha\rho_d](1-\alpha)^{2.5}}{18\mu_0} \left(1 - \exp\left\{-\frac{18\mu_0\tau}{d^2(1-\alpha)^{2.5}[\rho - \alpha(\rho_d + \rho)]}\right\}\right), \quad (3.13)$$

Практическое применение уравнения (3.13) показало, что основное влияние на скорость осаждения частиц оказывает перегруппировка агрегатов и флокул, происходящая в результате сгущения в стесненных условиях всей осаждающейся массы твердой фазы. Поэтому, пренебрегая экспоненциальным членом в уравнении,

$$\exp\left\{-\frac{18\mu_0\tau}{d^2(1-\alpha)^{2,5}[\rho-\alpha(\rho_d+\rho)]}\right\}, \quad (3.14)$$

как величиной, в условиях эксперимента близкой к нулю, определим функциональную зависимость величины  $\alpha$  от времени  $\tau$  (3.2-3.4).

Для этого используем экспериментальные зависимости скоростей осаждения частиц железосодержащих шламов газоочисток металлургического комбината «Запорожсталь» от времени сгущения (рис. 3.3). Методом выравнивания определена зависимость  $U_d = f(\tau)$  (3.1-3.3)

в виде:

$$U_d = \alpha\tau^b e^{c\tau}, \quad (3.15)$$

Определение величин коэффициентов в уравнении (3.14) методом неполных квадратов позволило получить значения:  $\alpha = 0,65842$ ;  $b = 0,515$ ;  $c = -0,011$

Далее для определения изменения значений  $\alpha$  от времени сгущения, приравняем уравнения (3.13) и (3.14):

$$\alpha\tau^b e^{c\tau} = \frac{gd^2[(1-\alpha)\rho + \alpha\rho_d](1-\alpha)^{2,5}}{18\mu_0}, \quad (3.16)$$

Расчетные значения изменения концентрации твердой фазы от времени сгущения  $\alpha=f(\tau)$  приведены в табл. 3.3 и на рис. 3.2 для условий эксперимента при

заданных остальных параметрах (рис. 3.1) В этом случае совпадение расчетных и экспериментальных данных подтверждается полностью (3.4).

Таблица 3.1 - Расчетное изменение концентрации твердой фазы во времени

$\tau, \text{с}$	300	350	400	600	700	800	900
$\alpha$	0,183	0,387	0,502	0,798	0,841	0,892	0,944

На следующей стадии эксперимента изучали процессы осветления суспензий, содержащих окалину прокатного производства. Плотность проб твердой фазы суспензий, отобранных из сбросных желобов газоочисток прокатных цехов комбината «Запорожсталь» составляла 1,6 и 1,8 г/см<sup>3</sup>, средний размер частиц – 0,3-0,35 мм. На рис. 3.2 приведена зависимость изменения высоты осветленного столба жидкости при осаждении взвешенных частиц во времени от концентрации твердой фазы.

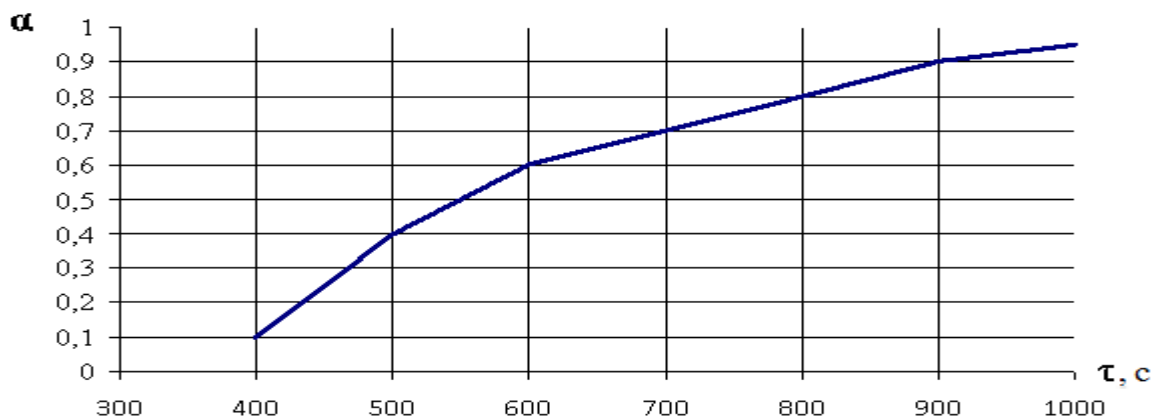


Рисунок 3.2 - Изменение концентрации частиц Fe-содержащих шламов  $\alpha$  во времени (результат эксперимента)

Имея экспериментальные кривые (см. рис. 3.1-3.4), отражающие свойства указанных суспензий, и используя полученные уравнения (3.12-3.15), можно



изучать механизм превращений, происходящих в суспензиях при взаимодействии твердой и жидкой фаз.

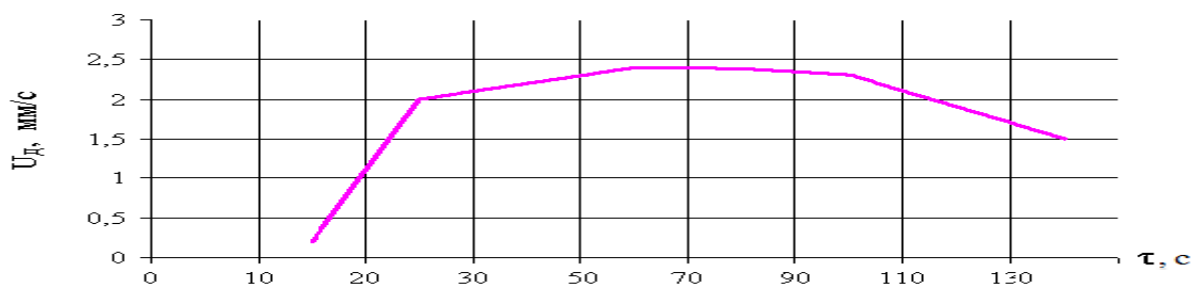


Рисунок 3.3 - Изменение скорости осаждения частиц Fe-содержащих шламов во времени (результат эксперимента)

Задаваясь значениями времени  $t$ , определяем  $U_d$ ; и находим изменение во времени  $d$ ,  $\tau$  и  $\alpha$ . Предложенная модель процесса сгущения суспензий позволяет выполнить анализ происходящих сложных явлений и определить общие тенденции процесса сгущения групп суспензий в основных отраслях промышленности, в т.ч. в системах газоочисток металлургического производства. Это позволяет создать классификацию суспензий по их основным свойствам [76].

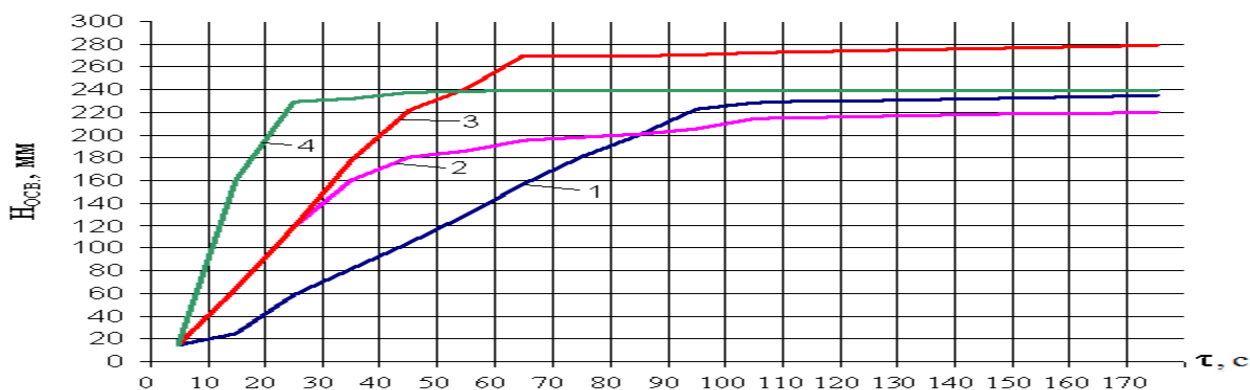


Рисунок 3.4 - Изменение высоты осветленного столба жидкости при осаждении частиц окалины во времени в зависимости от концентрации твердой фазы. 1 – 10,7 г/дм<sup>3</sup>; 2 – 15,7 г/дм<sup>3</sup>; 3 – 17,8 г/дм<sup>3</sup>; 4 – 18,9 г/дм<sup>3</sup>. Фракции  $d=0,3-0,35$  мм. Плотность частиц – 1,95 и 2,38 г/см<sup>3</sup>. Плотность жидкости - 1,025 и 1,04 г/см<sup>3</sup>

### 3.1.2 Зависимость степени уплотнения шламов газоочисток доменных печей от температуры и напряжения электрического тока

Геометрическая интерпретация плана активных экспериментов, матрица их планирования и результаты приведены на рис. 3.5 и в табл. 3.2, 3.3. Факторы эксперимента:  $X_1$  - напряжение постоянного тока, В;  $X_2$  - температура суспензии, ° С. Параметр оптимизации:  $Y$  - степень уплотнения шлама, %. На рис. 3.6 приведена зависимость степени уплотнения шлама газоочисток доменных печей от температуры и напряжения постоянного тока.

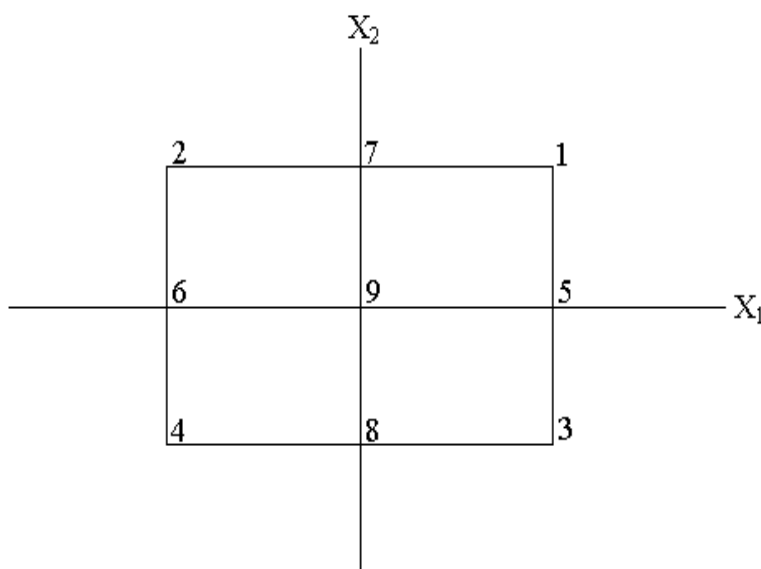


Рисунок 3.5 - Геометрическая интерпретация плана активных экспериментов

Границы варьирования  $U$  – напряжения 100 - 200 В, шаг варьирования 50 В.

$T$  – температуры в системе 20-60 ° С, шаг варьирования 20 ° С.

Равенство регрессии:  $Y=52,999+0,067x_1-2,983x_2-1,829x_1^2-3,079x_2^2-0,763x_1x_2$

Таблица 3.2 - Матрица планирования экспериментов и их результаты

№ опыта	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y
1	+1	1	1	46,8	45,8	46,3
2	+1	-1	1	45,7	48,8	47,25
3	+1	1	-1	48,7	53,8	51,25
4	+1	-1	-1	41	57,3	49,15
5	+1	1	0	46,3	55,1	50,7
6	+1	-1	0	47,5	55,4	51,45
7	+1	0	1	45,1	43,5	44,3
8	+1	0	-1	52,9	57,8	55,35
9	+1	0	0	46,5	56,8	51,65

Таблица 3.3 - Зависимость параметров оптимизации от факторов влияния

Напряжение, В	Температура исследуемой суспензии, °С										
	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60
100	50,24	50,90	51,32	51,49	51,42	51,1	50,53	49,72	48,6	47,35	45,8
110	51,06	51,70	52,08	52,23	52,12	51,7	51,17	50,33	49,2	47,90	46,3
120	51,74	52,34	52,70	52,81	52,68	52,3	51,67	50,79	49,6	48,30	46,6
130	52,27	52,85	53,17	53,25	53,09	52,6	52,02	51,11	49,9	48,56	46,9
140	52,66	53,20	53,50	53,55	53,35	52,9	52,22	51,28	50,1	48,67	47,0
150	52,90	53,41	53,68	53,69	53,47	52,9	52,27	51,31	50,1	48,64	46,9
160	52,99	53,47	53,71	53,70	53,44	52,9	52,18	51,19	49,9	48,46	46,7
170	52,94	53,39	53,59	53,55	53,26	52,7	51,95	50,92	49,6	48,13	46,3
180	52,74	53,16	53,33	53,26	52,94	52,3	51,56	50,51	49,2	47,65	45,8
190	52,39	52,78	52,92	52,82	52,47	51,8	51,04	49,95	48,6	47,03	45,2
200	51,90	52,26	52,37	52,24	51,86	51,2	50,36	49,24	47,8	46,26	44,4

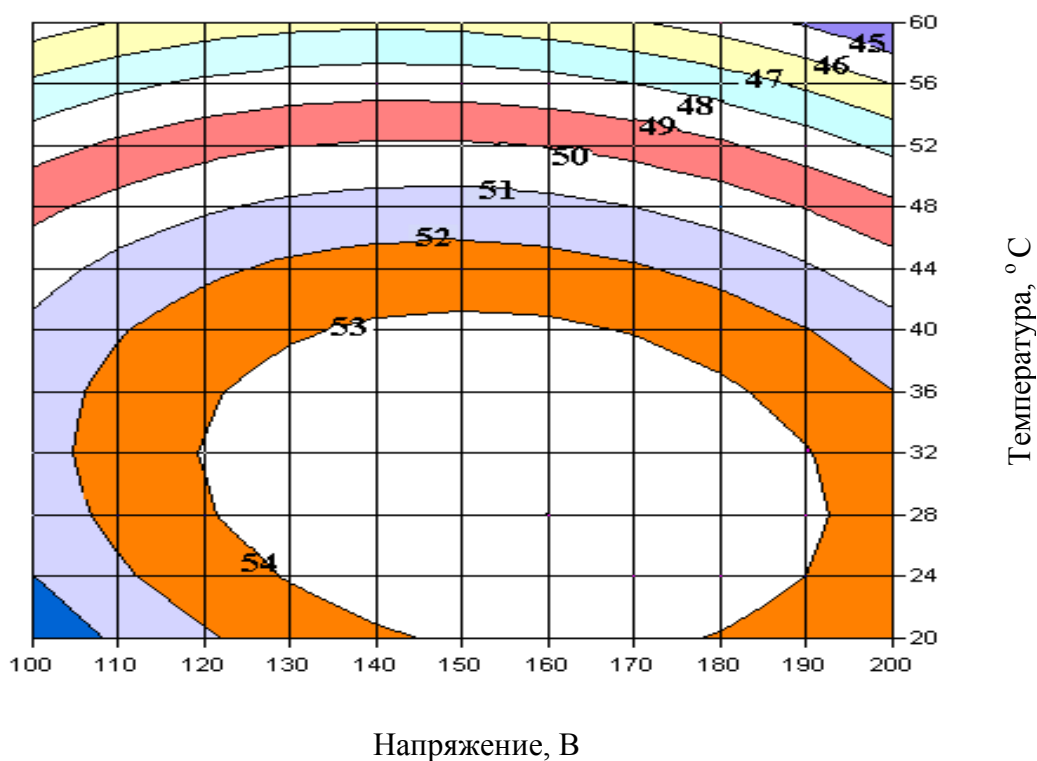


Рисунок 3.6 - Зависимость степени уплотнения шлама газоочисток доменных печей от температуры и напряжения постоянного тока

### 3.1.3 Изучение электрокинетических явлений при гравитационном осаждении шламов газоочисток доменных печей

При проведении экспериментов определяли скорость перемещения границы расслоения суспензии на осадок и осветленную воду. Взвешенные частицы, осаждение которых характеризуется гидравлической крупностью  $\omega_0$ , и истинной электрофоретической подвижностью которую определяли по разности вычисленных скоростей их осаждения под действием электрического тока  $v_{\text{напр}}$  и без него  $\omega_0$ .

$$U = v_{\text{напр}} - \omega_0, \quad (3.17)$$

Полученные значения истинной электрофоретической скорости частиц, вычисленной по (3.17), использовали для определения электрокинетического потенциала электрофореза [81]:

$$\xi = \frac{6\pi\eta U}{DH}, \quad (3.18)$$

где  $\eta$  - вязкость жидкости, сПз;  $D$  - диэлектрическая проницаемость жидкости;  $H$  - градиент потенциала внешнего электрического поля, В/см.

По результатам измерений построены графики процесса гравитационного осаждения шламов газоочисток доменных печей в зависимости от температуры (рис. 3.7), в зависимости от температуры и времени обработки постоянным электрическим током (рис.3.8 – 3.10).

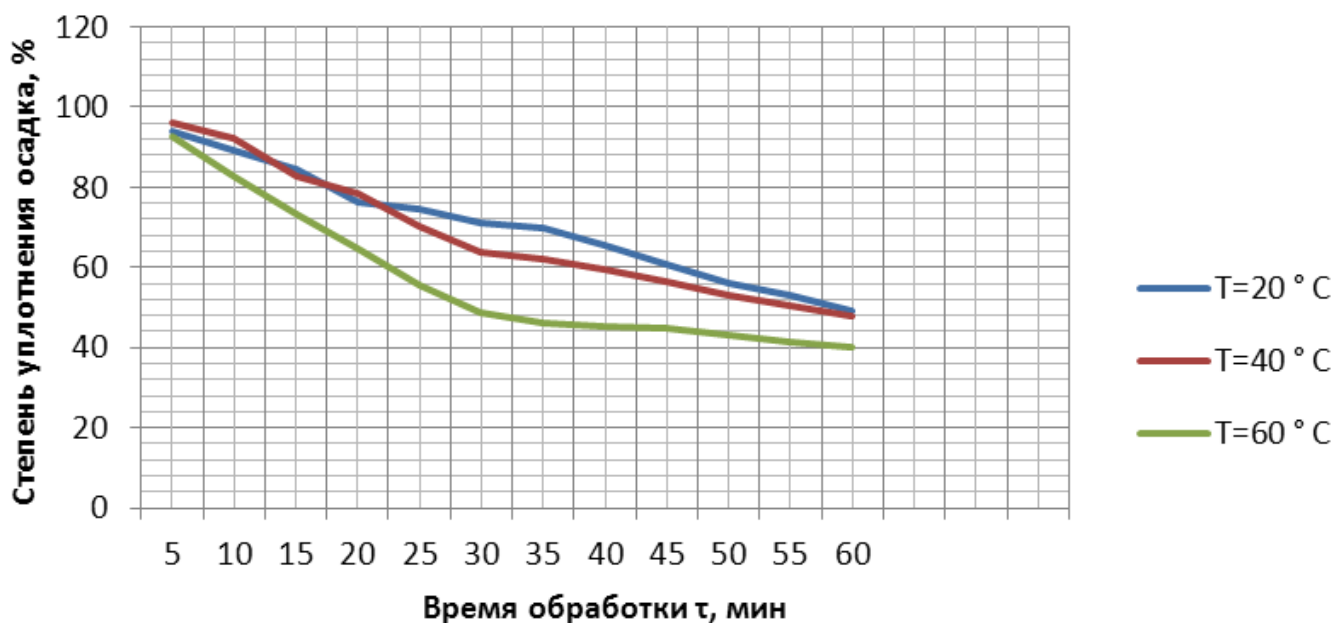


Рисунок 3.7 - Кинетика гравитационного осаждения шламов газоочисток доменных печей в зависимости от температуры в системе

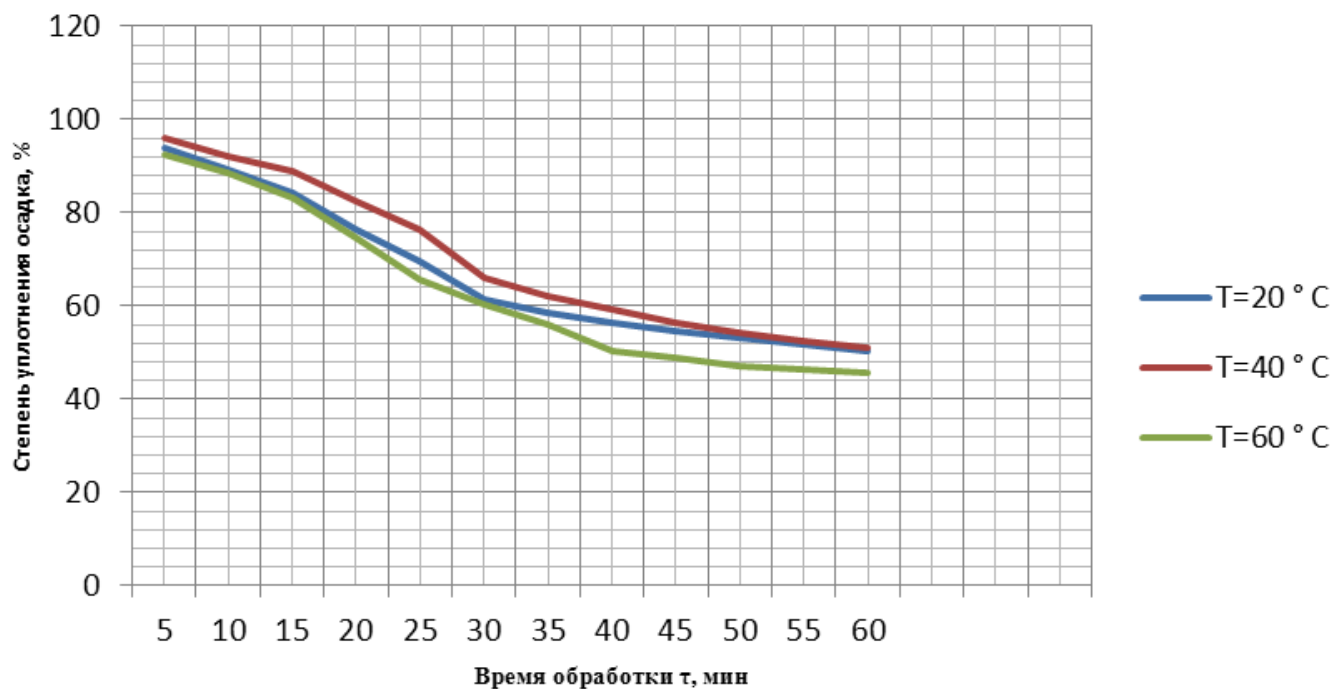


Рисунок 3.8 - Кинетика гравитационного осаждения шламов газоочисток доменных печей в зависимости от температуры и времени обработки постоянным электрическим током  $U=100$  В

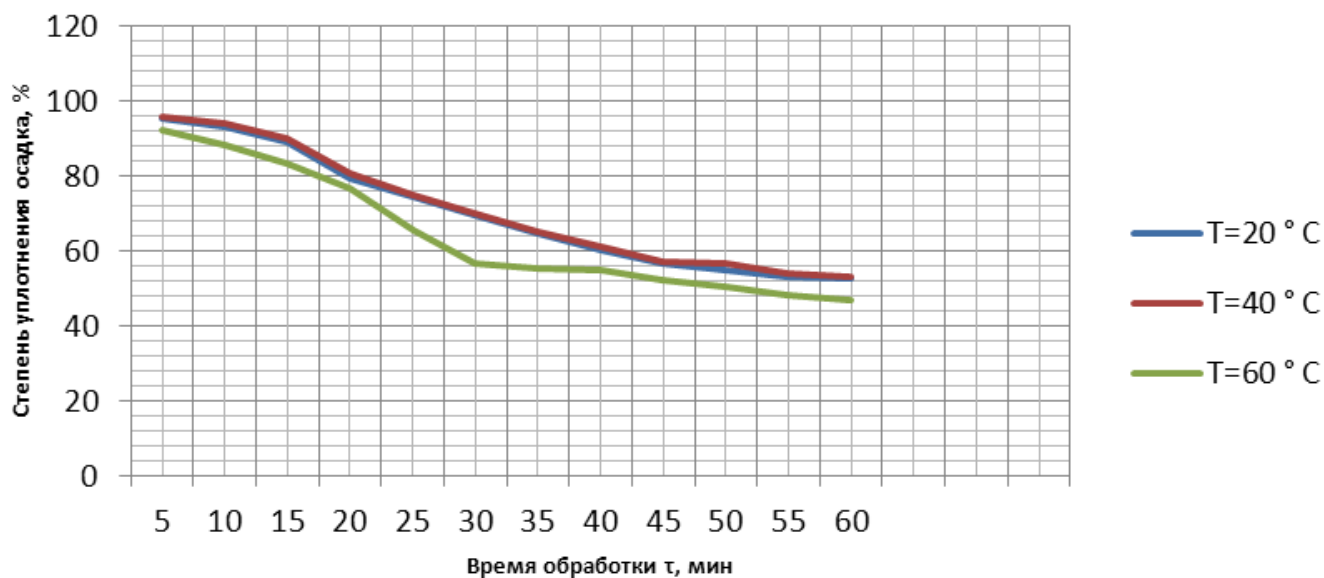


Рисунок 3.9 - Кинетика гравитационного осаждения шламов газоочисток доменных печей в зависимости от температуры и времени обработки постоянным электрическим током  $U=150$  В

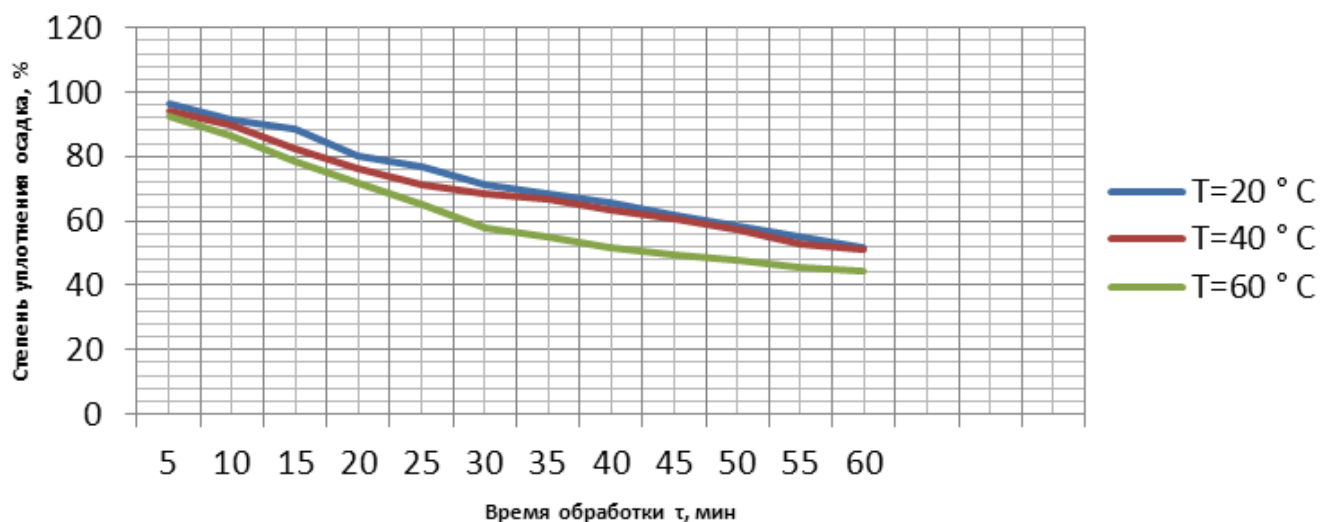


Рисунок 3.10 - Кинетика гравитационного осаждения шламов газоочисток доменных печей в зависимости от температуры и времени обработки постоянным электрическим током  $U=200\text{ В}$

На рис. 3.11 показана схема лабораторной установки для изучения электрокинетических явлений. По данным, полученным в ходе проведенных экспериментов, находили скорости перемещения границы раздела фаз, используя формулу 3.19, результаты вычислений приведены в табл. 3.6.

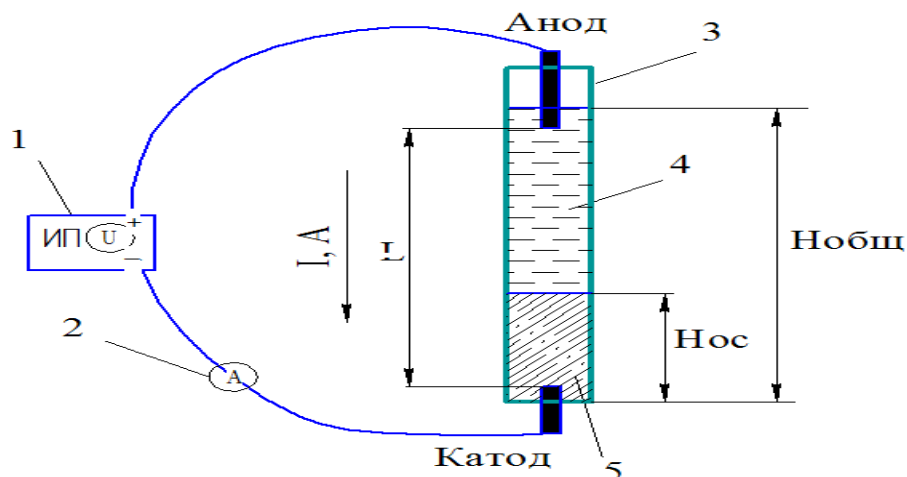


Рисунок 3.11 - Схема лабораторной установки для определения электрокинетических явлений при гравитационном осаждении шламов: 1- источник питания; 2 - амперметр; 3 - лабораторный цилиндр; 4 - осветленная вода; 5- осадок

$$\omega_0 (v_{\text{напр}}) = (H_{\text{общ}} - H_{\text{ос}})/t, \quad (3.19)$$

где  $H_{\text{общ}}$  - высота общего слоя жидкости, см;  $H_{\text{ос}}$  – высота границы расслоения фаз, сформированная осадком, см;  $t$  – время эксперимента, с.

Таблица 3.4 - Скорости перемещения границы раздела фаз, см/с

Температура, °С	Напряжение, В			
	0	100	150	200
20	0,00625	0,00525	0,0052	0,0051
40	0,0064	0,0055	0,0055	0,0055
60	0,00745	0,00635	0,00695	0,0067

Определение истинных электрофоретических скоростей перемещения частиц при напряжении 100 В:  $U_1 = 0,00525 - 0,00625 = -0,001$  см/с ;

$$U_2 = 0,0055 - 0,0064 = -0,0009 \text{ см/с}; U_3 = 0,00635 - 0,00745 = -0,0011 \text{ см/с};$$

при напряжении 150 В:  $U_4 = 0,0052 - 0,00625 = -0,00105$  см/с ;

$$U_5 = 0,0055 - 0,0064 = -0,0009 \text{ см/с}; U_6 = 0,00695 - 0,00745 = -0,0005 \text{ см/с};$$

при напряжении 200 В:  $U_7 = 0,0051 - 0,00625 = -0,00115$  см/с ;

$$U_8 = 0,0055 - 0,0064 = -0,0009 \text{ см/с}; U_9 = 0,0067 - 0,00745 = -0,00075 \text{ см/с}.$$

Градиент потенциала электрического тока в зависимости от напряжения рассчитывали по формуле:

$$H=E/L, \quad (3.20)$$

где  $H$  – градиент потенциала внешнего электрического поля, В/см;  $E$  – разность потенциалов, В;  $l$  – расстояние между электродами, см.



$$H = \frac{100}{42,5} = 2,35 \text{ В/см}; \quad H = \frac{150}{42,5} = 3,52 \text{ В/см}; \quad H = \frac{200}{42,5} = 4,71 \text{ В/см}.$$

Тогда  $\xi$  - потенциал будет равен:  $\xi_{100} = \frac{6 \cdot 3,14 \cdot \eta}{81 \cdot 2,35} \cdot U_n = 0,0994 \cdot U_n \text{ мВ};$

$$\xi_{150} = \frac{6 \cdot 3,14 \cdot \eta}{81 \cdot 3,52} \cdot U_n = 0,043 \cdot U_n \text{ мВ}; \quad \xi_{200} = \frac{6 \cdot 3,14 \cdot \eta}{81 \cdot 4,71} \cdot U_n = 0,023 \cdot U_n \text{ мВ}.$$

Результаты определения  $\xi$  - потенциала приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5 - Значения  $\xi$  - потенциала мВ, в зависимости от температуры и напряжения постоянного электрического тока

Напряжение, В	Температура, °С		
	20	40	60
100	- 0,1	- 0,058	- 0,051
150	- 0,07	- 0,04	- 0,016
200	- 0,07	- 0,03	- 0,015

3.1.4 Расчет радиусов ионов кальция в жидкой фазе шламов газоочисток доменных печей по удельной электропроводности

Под действием напряжения  $E$  движение ионов в стационарных условиях в гидродинамической среде определяется уравнением [87]:

$$b\pi\eta v = ZeE, \quad (3.21)$$

Если принять во внимание известные соотношения  $v = HU$ ;  $e = \frac{F}{N_A}$  и для

бесконечно разбавленного раствора  $U_\infty = \frac{\lambda_\infty}{F}$ , получим уравнение:

$$6\pi\eta\frac{\lambda_{\infty}}{F} = Z\frac{F}{N_0}, \quad (3.22)$$

Откуда:

$$r = \frac{ZF^2}{6\pi\eta_0\lambda_{\infty}N_0}, \quad (3.23)$$

где  $r$  – радиус иона, Å;  $\eta$  – динамическая вязкость;  $\lambda_{\infty}$  – эквивалентная электропроводность иона при бесконечном разбавлении, Ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>;  $F$  – число Фарадея, г/моль;  $Z$  – заряд иона.

Определяем значение эквивалентной электропроводности для катиона Ca<sup>2+</sup> в исходной шламовой воде и после обработки постоянным электрическим током [88]:

$$\lambda = 1000 \gamma/C, \quad (3.24)$$

$$\lambda_{1\text{ Ca}^{2+}} = 1000 \frac{5,9 \cdot 10^{-4}}{0,1 \cdot 10^{-3}} = 5900 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1};$$

$$\lambda_{2\text{ Ca}^{2+}} = 1000 \frac{5,308 \cdot 10^{-4}}{0,2 \cdot 10^{-4}} = 26540 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1};$$

$$\begin{aligned} r_{1\text{ Ca}^{2+}} &= \frac{zF^2}{6\pi\eta\lambda N_0} = \frac{2 \cdot 96500 \cdot 96500 \cdot 10}{6 \cdot 3,14 \cdot 5900 \cdot 10^{-8} \cdot 0,4688 \cdot 10^{-10} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = \\ &= 593700,8 \cdot 10^{-5} = 5,9 \text{ Å} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{2\text{ Ca}^{2+}} &= \frac{zF^2}{6\pi\eta\lambda N_0} = \frac{2 \cdot 96500 \cdot 96500 \cdot 10}{6 \cdot 3,14 \cdot 26540 \cdot 10^{-8} \cdot 0,4688 \cdot 10^{-10} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = \\ &= 131983,22 \cdot 10^{-5} = 1,3 \text{ Å} \end{aligned}$$

### 3.1.5 Анализ результатов экспериментов по осаждению шламов газоочисток доменных печей

После обработки результатов экспериментов получено равенство регрессии:

$$Y = 52,999 + 0,067x_1 - 2,983x_2 - 1,829x_{11}^2 - 3,079x_{22}^2 - 0,763x_1x_2 \quad (3.25)$$

Графическая интерпретация этого равенства (рис. 3.6) и данные табл. 3.3 показывают, что максимальная степень уплотнения шламов – 44,4 % достигается при  $T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$  и напряжении электрического тока 200 В. При этих параметрах зафиксировано минимальное значение  $\xi$  – потенциала равное  $-0,015 \text{ мВ}$ .

При проведении эксперимента химические характеристики шламовой воды изменились, мг/дм<sup>3</sup>:  $\text{SO}_4^{2-}$  - 646,0;  $\text{Cl}^-$  - 350; рН – 9,0. Показатели щелочности, жесткости, содержания  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  мг-экв/дм<sup>3</sup>, соответственно: 5,0; 2,5; 1,0; 1,5. Сухой остаток - 904,0 мг/дм<sup>3</sup>. Уменьшение содержания кальция и магния привело к снижению жесткости жидкой фазы. На катоде кроме чешуек оксида кальция выделялся водород в результате распада бикарбонатного аниона и электролиза собственно воды.

Движение катионов к катоду, который находится в нижней части установки, значительно увеличивает скорость осаждения шламов и фильтрацию шламовой воды через образовавшийся слой осадка. Этому же благоприятствует уменьшение радиусов гидратированных катионов, которое проходит под влиянием обработки электрическим током.

Расчеты гидратных оболочек кальция показали уменьшение их радиусов с 5,9 Å до 1,3 Å. Установление этого факта расчетами на основании изменения удельной электропроводности и концентрации ионов  $\text{Ca}^{2+}$  подтвердило теоретические разработки автора. Расчеты проведены по электропроводности и числам переноса катионов в соответствии с методиками М.И. Бакеева [87].

### 3.2 Исследование гравитационного осаждения шламов газоочисток аглоцеха под действием постоянного электрического тока

#### 3.2.1 Зависимость степени уплотнения шламов аглоцеха от температуры сточных вод и напряжения постоянного электрического тока

Факторы эксперимента:  $X_1$  –напряжение постоянного тока, В;  
 $X_2$  - температура суспензии, ° С;  $Y$  – степень уплотнения шлама, %

Равенство регрессии имеет вид:

$$Y=31,946+0,458x_1+0,717x_2-0,845x_{11}^2-0,07x_{22}^2+0,113x_1x_2,$$

Геометрическая интерпретация плана активных экспериментов, матрица планирования экспериментов и их результаты приведены на рис. 3.12 , в табл. 3.6, 3.7.

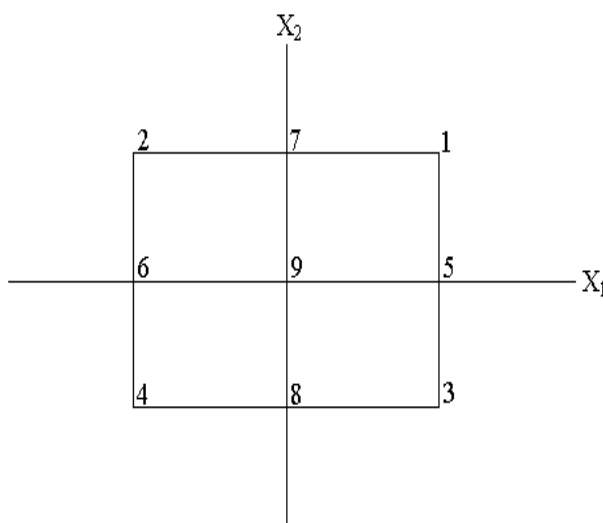


Рисунок 3.12 - Геометрическая интерпретация плана активных экспериментов

Границы варьирования  $U$  – напряжения 100 - 200 В, шаг варьирования 50 В.  
 $T$  – температуры в системе 20-60 ° С, шаг варьирования 20 ° С.

Таблица 3.6 - Матрица планирования экспериментов и их результаты

№ опыта	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y'	Y''	Y
1	+1	1	1	28,8	31,8	30,3
2	+1	-1	1	30,9	31,2	31,05
3	+1	1	-1	32,6	31,3	31,95
4	+1	-1	-1	31,6	31,1	31,35
5	+1	1	0	32,6	32,9	32,75
6	+1	-1	0	29	32,5	30,75
7	+1	0	1	29,9	33,7	31,8
8	+1	0	-1	34,5	32	33,25
9	+1	0	0	29	30,4	29,7

Таблица 3.7 – Зависимость параметров оптимизации от факторов влияния

Напряжение, В	Температура, °С										
	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60
100	31,1	31,0	31,0	30,9	30,8	30,8	30,8	30,7	30,7	30,7	30,6
110	31,5	31,4	31,3	31,2	31,2	31,1	31,0	31,0	31,0	30,9	30,9
120	31,8	31,7	31,6	31,5	31,4	31,4	31,3	31,2	31,2	31,1	31,1
130	32,1	32,0	31,8	31,7	31,7	31,6	31,5	31,4	31,3	31,31	31,2
140	32,3	32,2	32,0	31,9	31,8	31,7	31,6	31,5	31,4	31,4	31,3
150	32,4	32,3	32,2	32,0	31,9	31,8	31,7	31,6	31,5	31,44	31,3
160	32,5	32,4	32,2	32,1	32,0	31,8	31,7	31,6	31,5	31,4	31,3
170	32,6	32,4	32,3	32,1	32,0	31,8	31,7	31,5	31,4	31,3	31,2
180	32,6	32,4	32,2	32,1	31,9	31,7	31,6	31,4	31,3	31,2	31,0
190	32,5	32,3	32,1	31,9	31,8	31,6	31,4	31,3	31,1	31,0	30,8
200	32,4	32,2	32,0	31,8	31,6	31,4	31,2	31,1	30,9	30,7	30,6

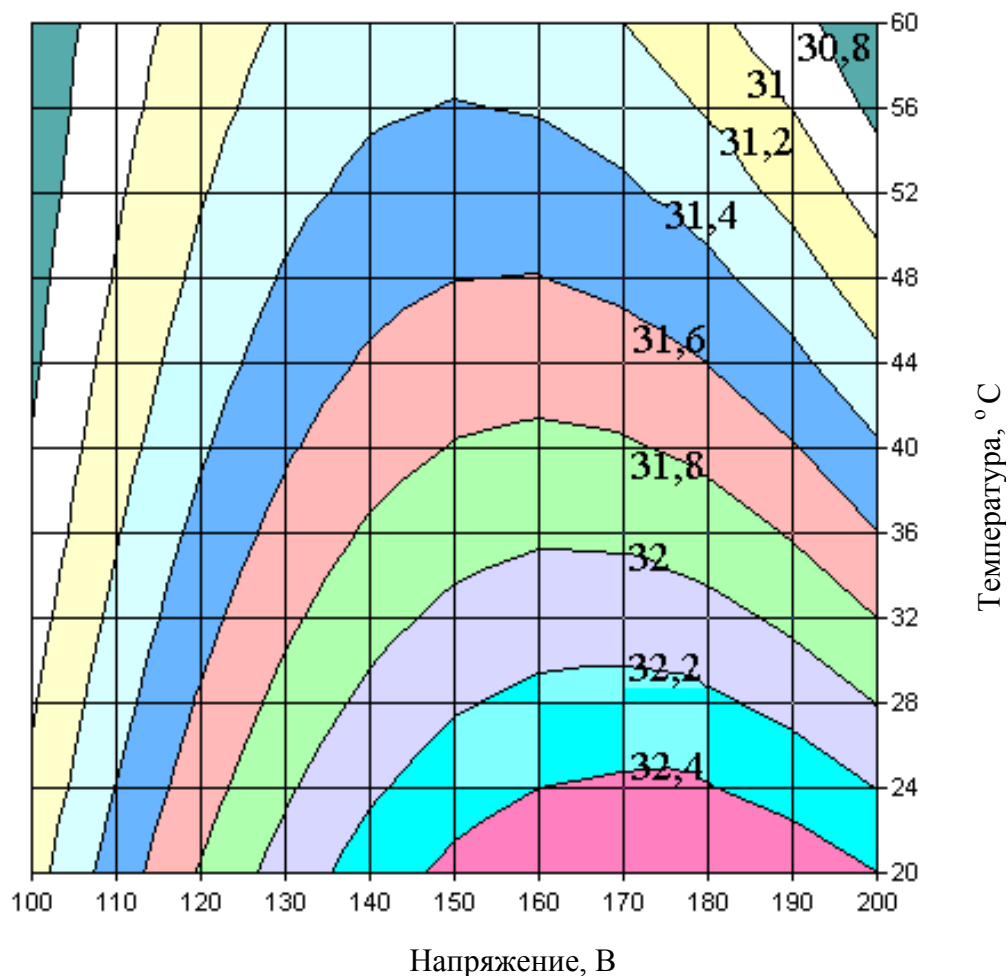


Рисунок 3.13 - Зависимость степени уплотнения шлама аглоцеха от температуры и напряжения постоянного электрического тока

### 3.2.2 Изучение электрокинетических явлений при гравитационном осаждении шламов газоочисток аглоцеха

По результатам измерений построены графики процесса гравитационного осаждения шламов газоочисток аглоцеха в зависимости от температуры (рис. 3.14) и времени обработки постоянным электрическим током (рис.3.15-3.17).

По данным, полученным в ходе проведения экспериментов, вычисляли скорости перемещения границы разделения фаз по формуле (3.19) (см. табл. 3.8).

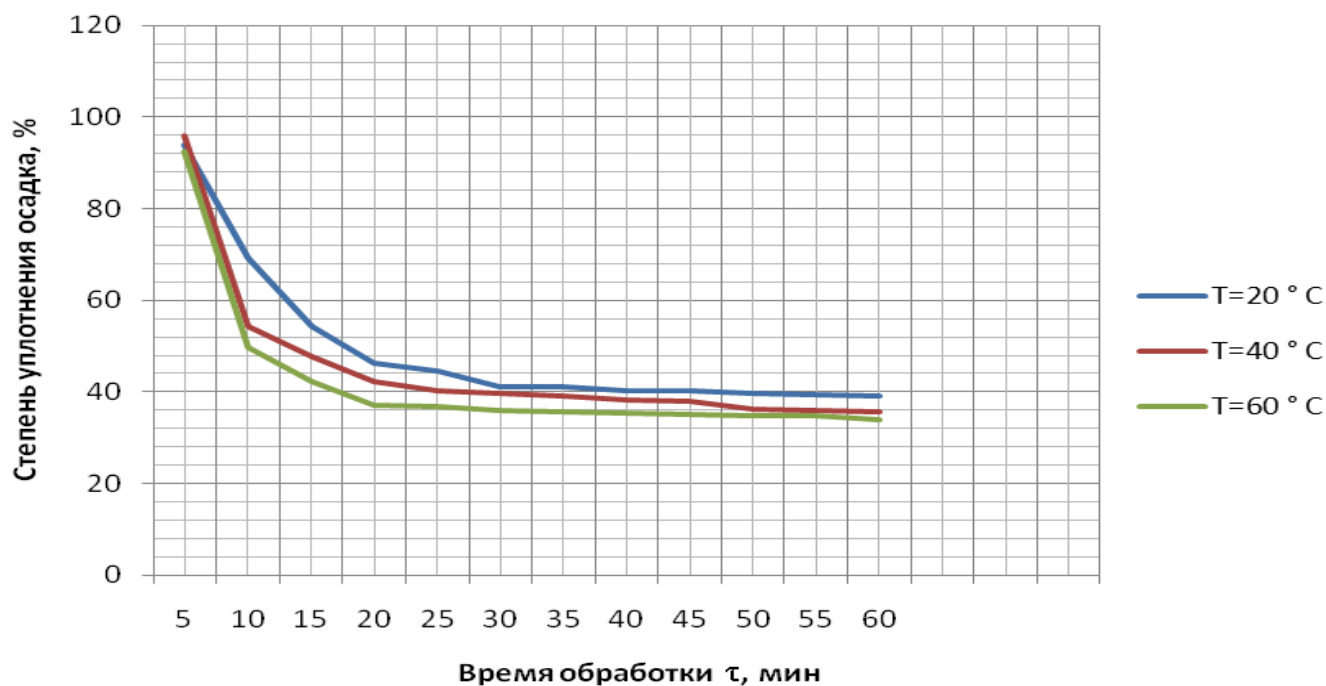


Рисунок 3.14 - Кинетика гравитационного осаждения шламов газоочисток аглоцеха в зависимости от температуры в системе

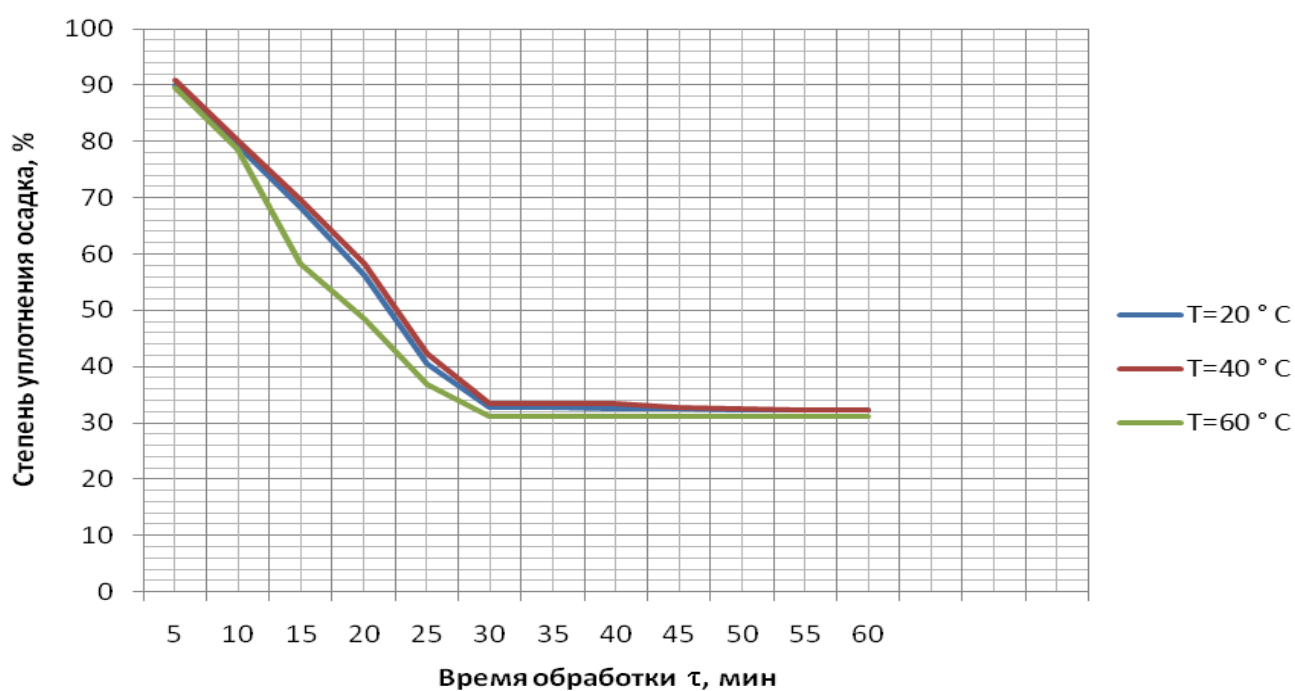


Рисунок 3.15 - Кинетика гравитационного осаждения шламов газоочисток аглоцеха в зависимости от температуры и времени обработки постоянным электрическим током ( $U=100$  В)

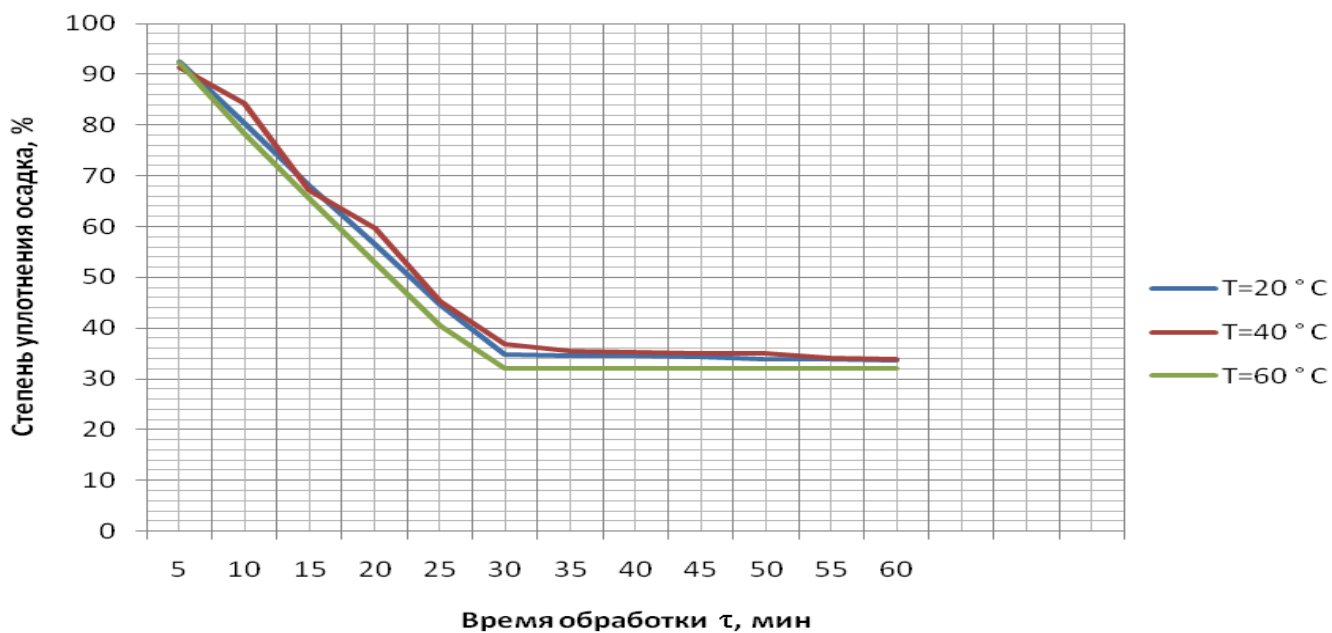


Рисунок 3.16 - Кинетика гравитационного осаждения шламов газоочисток аглоцеха в зависимости от температуры и времени обработки постоянным электрическим током ( $U=150$  В)

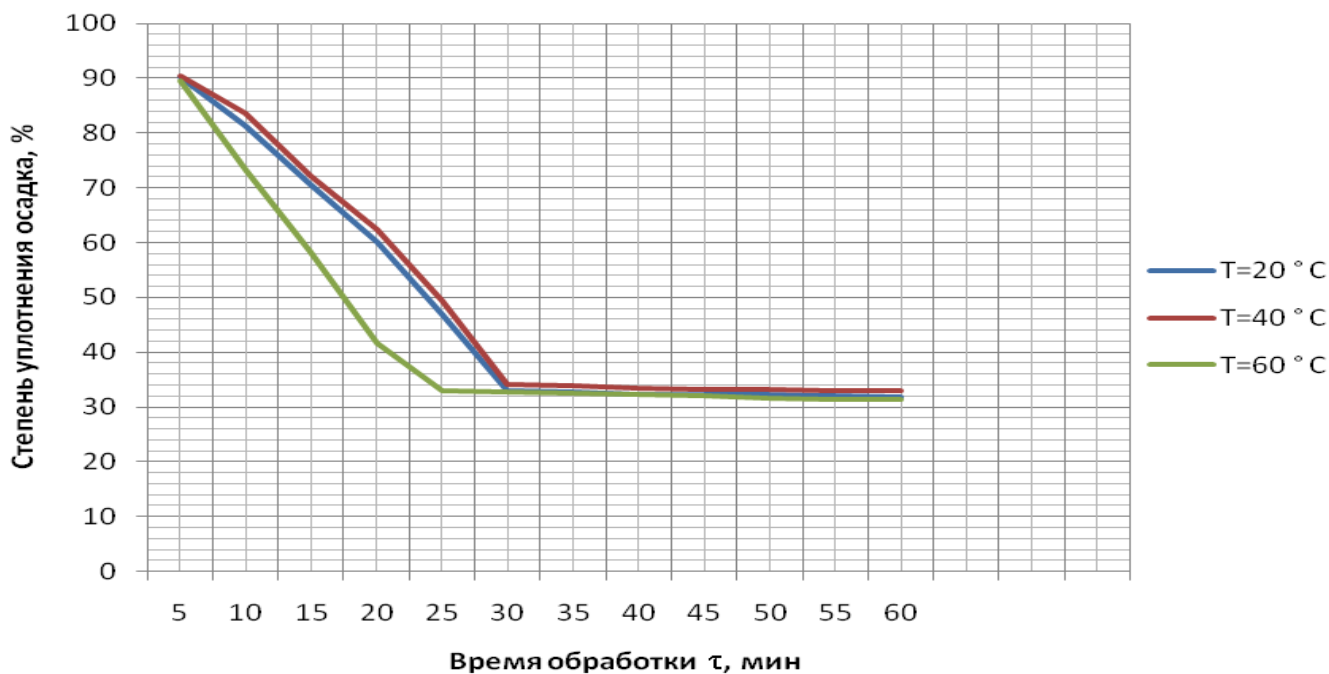


Рисунок 3.17 - Кинетика гравитационного осаждения шламов газоочисток аглоцеха в зависимости от температуры и времени обработки постоянным электрическим током ( $U=200$  В)



Т. к. расслоение образца шлама газоочисток аглоцеха происходило быстро (первые 30 мин эксперимента), для расчета приняли время 1800 с (табл. 3.8).

Таблица 3.8 - Скорости перемещения границы раздела фаз, см/с

Температура, °С	Напряжение, В			
	0	100	150	200
20	0,0147	0,016	0,0155	0,0154
40	0,015	0,0156	0,0152	0,0152
60	0,016	0,0166	0,0162	0,0161

Определение истинных электрофоретических скоростей перемещения частиц при напряжении 100В:  $U_1 = 0,016 - 0,0147 = 0,0013$  см/с ;

$$U_2 = 0,0156 - 0,015 = 0,0006 \text{ см/с}; U_3 = 0,0166 - 0,016 = 0,0006 \text{ см/с};$$

при напряжении 150В:  $U_4 = 0,0155 - 0,0147 = 0,0008$  см/с ;

$$U_5 = 0,0152 - 0,015 = 0,0002 \text{ см/с}; U_6 = 0,0162 - 0,016 = 0,0002 \text{ см/с};$$

при напряжении 200В:  $U_7 = 0,0154 - 0,0147 = 0,0007$  см/с ;

$$U_8 = 0,0152 - 0,015 = 0,0002 \text{ см/с}; U_9 = 0,0161 - 0,016 = 0,0001 \text{ см/с}.$$

Определение градиента потенциала установки в зависимости от напряжения:

$$H = \frac{100}{42,5} = 2,35 \text{ В/см}; H = \frac{150}{42,5} = 3,52 \text{ В/см}; H = \frac{200}{42,5} = 4,71 \text{ В/см}.$$

Тогда  $\xi$  - потенциал будет равен:  $\xi_{100} = \frac{6 \cdot 3,14 \cdot \eta}{81 \cdot 2,35} \cdot U_n = 0,0994 \cdot U_n$  мВ

$$\xi_{150} = \frac{6 \cdot 3,14 \cdot \eta}{81 \cdot 3,52} \cdot U_n = 0,043 \cdot U_n \text{ мВ} \quad \xi_{200} = \frac{6 \cdot 3,14 \cdot \eta}{81 \cdot 4,71} \cdot U_n = 0,023 \cdot U_n \text{ мВ}$$

Результаты определения  $\xi$  - потенциала приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9 - Значения  $\xi$  - потенциала мВ, в зависимости от температуры и напряжения

Напряжение, В	Температура, °С		
	20	40	60
100	0,13	0,04	0,03
150	0,053	0,009	0,006
200	0,035	0,006	0,002

3.2.3 Расчет радиусов ионов кальция в жидкой фазе шламов газоочисток аглоцеха.

$$\lambda_{1 Ca^{2+}} = 1000 \frac{8,1 \cdot 10^{-4}}{0,32 \cdot 10^{-3}} = 2503,1 \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1};$$

$$\lambda_{2 Ca^{2+}} = 1000 \frac{4,59 \cdot 10^{-4}}{1,5 \cdot 0,02 \cdot 10^{-4}} = 15300 \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1};$$

$$r_{1 Ca^{2+}} = \frac{zF^2}{6\pi \eta \lambda N_0} = \frac{2 \cdot 96500 \cdot 96500 \cdot 6}{6 \cdot 3,14 \cdot 2503,1 \cdot 10^{-8} \cdot 0,4688 \cdot 10^{-10} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 8,4 \text{ \AA};$$

$$r_{2 Ca^{2+}} = \frac{zF^2}{6\pi \eta \lambda N_0} = \frac{2 \cdot 96500 \cdot 96500 \cdot 6}{6 \cdot 3,14 \cdot 15300 \cdot 10^{-8} \cdot 0,4688 \cdot 10^{-10} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 1,4 \text{ \AA};$$

3.2.4 Анализ экспериментов по осаждению шламов газоочисток аглоцеха.

После обработки результатов экспериментов получено равенство регрессии:

$$Y = 31,946 + 0,458x_1 + 0,717x_2 - 0,845x_{11}^2 - 0,07x_{22}^2 + 0,113x_1x_2, \quad (3.26)$$

Графическая интерпретация этого равенства (рис. 3.13) и данные табл. 3.11 показывают, что наибольшая степень уплотнения шламов аглоцеха - 30,6 %, достигается при  $T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$  и напряжении электрического тока 200 В. При этом зафиксировано минимальное значение  $\xi$  – потенциала 0,002 мВ (см. табл. 3.13).

Большая степень уплотнения шламов аглоцеха по сравнению со шламами доменных газоочисток достигается за счет большей гидравлической крупности частиц, большего их удельного веса; прохождения активной реакции образования твердых  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  при больших значениях рН. При этом вначале наблюдается электролиз жидкой фазы шламов с изменением гидратных оболочек иона  $\text{Ca}^{2+}$  (например с 8,4 Å до радиуса "чистого"  $\text{Ca}^{2+}$  - 1,4 Å [89]). Это явление активизирует процессы осаждения и фильтрации жидкой фазы через сгущенный слой.

Вывод ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  из жидкой фазы осадка за счет выпадения  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  сопровождается уменьшением удельной электропроводности влажного осадка. Дальнейшая обработка шламов электрическим током приводит к повторному разрушению молекул  $\text{CaCO}_3$  в осадке, выделению  $\text{CO}_2$  и обратному переходу ионов  $\text{Ca}^{2+}$  в водную фазу с образованием  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Это в свою очередь приводит к увеличению радиуса иона кальция в шламовой воде, ее жесткости и рН.

При проведении эксперимента характеристики жидкой фазы шламов изменились, мг/дм<sup>3</sup>:  $\text{SO}_4^{2-}$  - 74,0;  $\text{Cl}^-$  - 54,0; рН – 9,0. Показатели щелочности, жесткости, содержания  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  мг-экв/дм<sup>3</sup>, соответственно: 23,0; 32,4; 32,0; 0,4. Сухой остаток - 813,5 мг/дм<sup>3</sup>.

При образовании осветленной воды большое влияние на ее характеристики оказывает наличие значительного количества извести в исходной шихте. В мокрых газоочистках известковая пыль частично выщелачивается, в результате чего возрастает рН среды жидкой фазы шламов до 11,1 и ее жесткость до 13,9 мг-экв/дм<sup>3</sup>. В свою очередь это приводит к образованию и выделению мелкодисперсного гидроксида магния из исходных магниевых соединений, образованию и выпадению

в осадок карбоната кальция. При этом образуется твердый  $\text{CaSO}_4$  с сульфат-ионом, повышающим произведение растворимости этой соли.

При повышении температуры жидкой фазы шламов растворимость  $\text{CaCO}_3$ , снижается. Обработка постоянным электрическим током разрушает его с образованием  $\text{CO}_2$  и  $\text{CaO}$ .  $\text{CaO}$ , взаимодействуя с водой, снова образует  $\text{Ca(OH)}_2$  с растворимым ионом  $\text{Ca}^{2+}$  и гидроксильными группами. Это повышает щелочность жидкой фазы шламов до 23,0 мг-экв/дм<sup>3</sup> и ее жесткость до 32,4 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

### 3.3 Исследование гравитационного осаждения смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха под действием постоянного электрического тока

#### 3.3.1 Зависимость степени уплотнения смеси шламов от температуры и напряжения постоянного электрического тока

Геометрическая интерпретация плана активных экспериментов, матрица их планирования и результаты приведены на рис. 3.18, 3.19 и в табл. 3.14, 3.15.

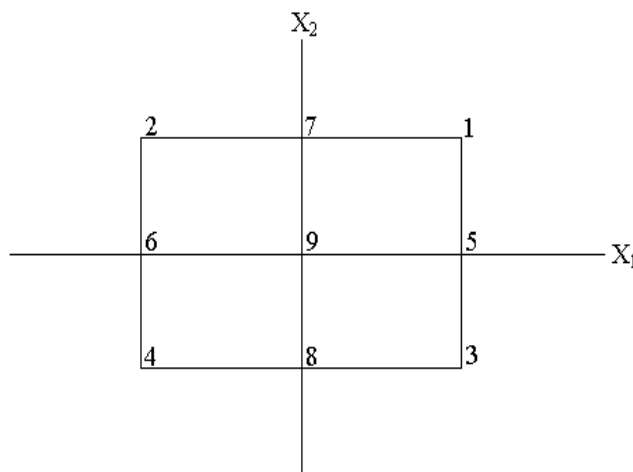


Рисунок 3.18 - Геометрическая интерпретация плана активных экспериментов

Границы варьирования  $U$  – напряжения 100-200 В, шаг варьирования 50 В.

$T$  – температуры шлама 20-60 °С, шаг варьирования 20 °С.

Равенство регрессии имеет вид:

$$Y = 35,778 + 0,667x_1 - 4,248x_2 + 0,014x_{11}^2 - 0,161x_{22}^2 - 0,808x_1x_2,$$

Таблица 3.10 - Матрица планирования экспериментов и их результаты

Номер опыта	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	y'	y''	$\bar{y}$
1	+1	1	1	31,38	32,31	31,84
2	+1	-1	1	31,67	31,91	31,79
3	+1	1	-1	41,67	42,28	41,97
4	+1	-1	-1	36,45	40,93	38,69
5	+1	1	0	33,1	38,44	35,77
6	+1	-1	0	34,43	35,78	35,10
7	+1	0	1	30	32,07	31,03
8	+1	0	-1	35,75	43,23	39,49
9	+1	0	0	33,57	37,26	35,41

Таблица 3.11 - Зависимость параметров оптимизации от факторов влияния

Напряжение, В	Температура, °С										
	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60
100	38,4	37,7	37,1	36,4	35,8	35,1	34,4	33,7	33,00	32,26	31,52
110	38,6	38,0	37,3	36,6	35,9	35,2	34,5	33,7	33,03	32,26	31,49
120	38,9	38,2	37,5	36,8	36,1	35,3	34,6	33,8	33,06	32,26	31,45
130	39,2	38,5	37,8	37,0	36,2	35,5	34,7	33,9	33,10	32,27	31,42
140	39,5	38,8	38,0	37,2	36,4	35,6	34,8	33,9	33,13	32,27	31,39
150	39,8	39,0	38,2	37,4	36,6	35,7	34,9	34,0	33,17	32,27	31,36
160	40,1	39,3	38,4	37,6	36,7	35,9	35,0	34,1	33,20	32,28	31,34
170	40,4	39,6	38,7	37,8	36,9	36,0	35,1	34,1	33,24	32,28	31,31
180	40,7	39,8	38,9	38,0	37,1	36,1	35,2	34,2	33,28	32,29	31,28
190	41,0	40,1	39,1	38,2	37,2	36,3	35,3	34,3	33,32	32,30	31,26
200	41,3	40,4	39,4	38,4	37,4	36,4	35,4	34,4	33,36	32,31	31,24

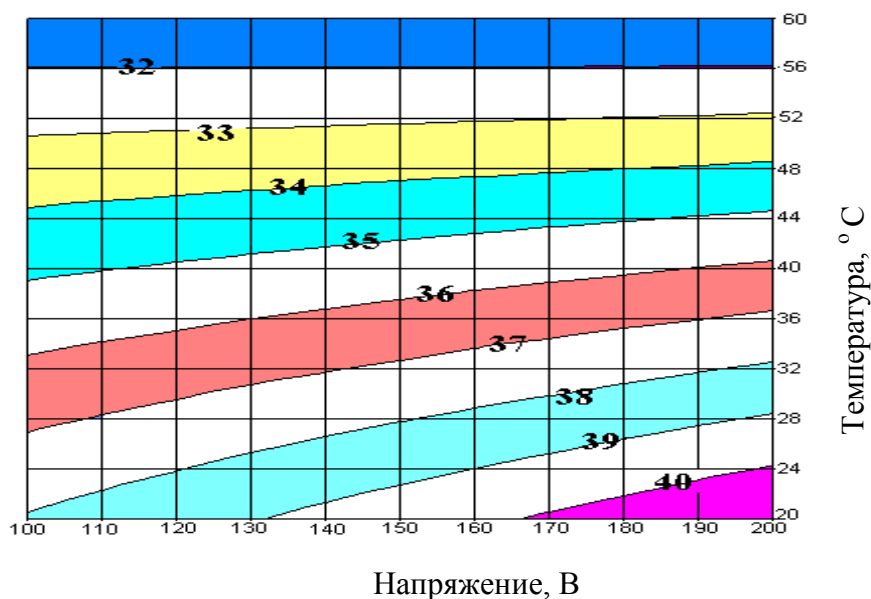


Рисунок 3.19 - Зависимость степени уплотнения смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха от температуры и напряжения электрического тока

3.3.2 Изучение электрокинетических явлений при гравитационном осаждении смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха.

По результатам измерений построены графики процесса гравитационного осаждения смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха в зависимости от температуры (рис. 3.20) и времени обработки постоянным током (рис. 3.21 – 3.22).

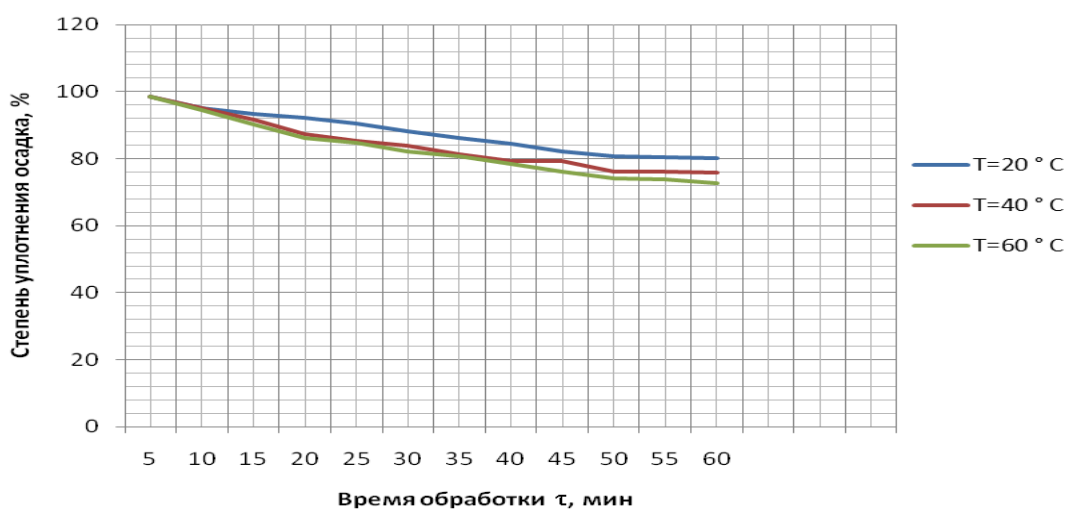


Рисунок 3.20 - Кинетика гравитационного осаждения смеси шламов в зависимости от температуры в системе

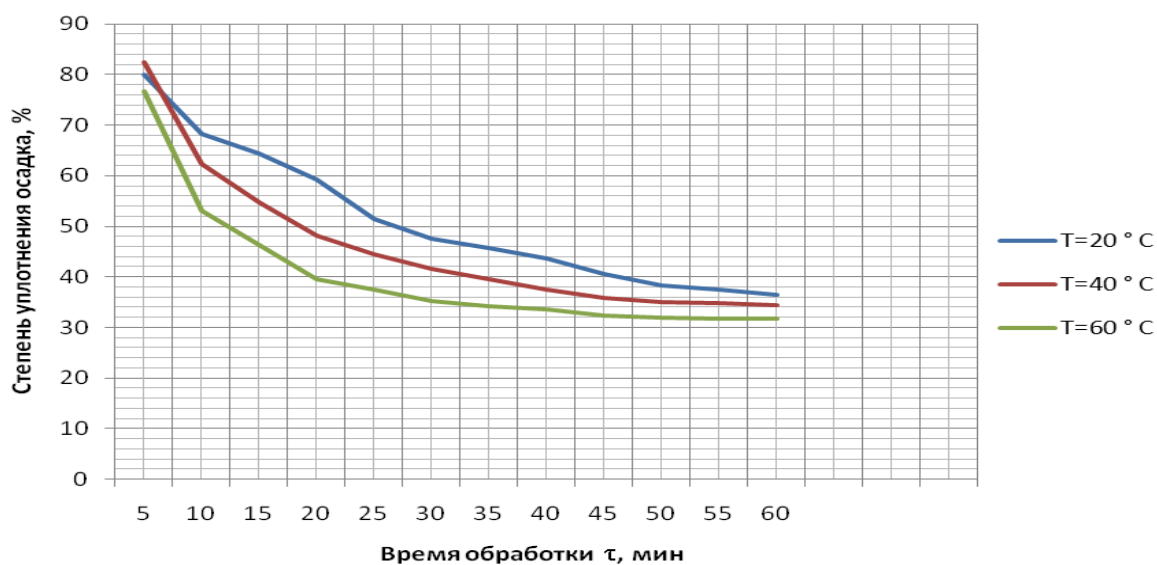


Рисунок 3.21 - Кинетика гравитационного осаждения смеси шламов в зависимости от температуры и времени обработки постоянным электрическим током ( $U=100$  В)

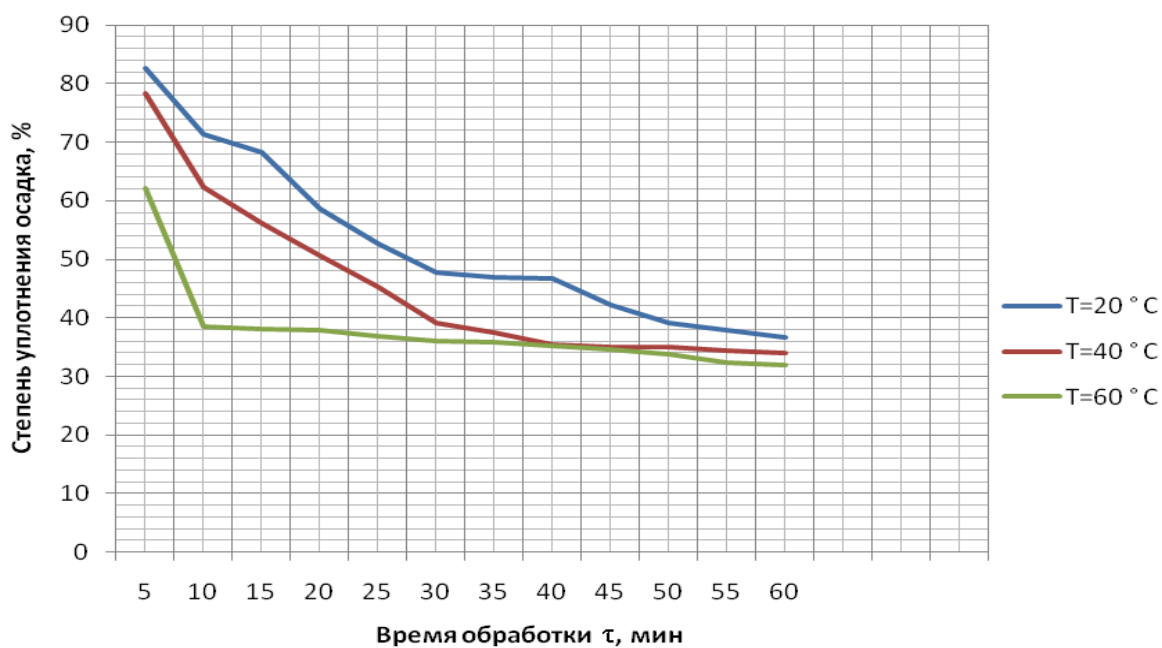


Рисунок 3.22 - Кинетика гравитационного осаждения смеси шламов в зависимости от температуры и времени обработки постоянным электрическим током ( $U=150$  В)

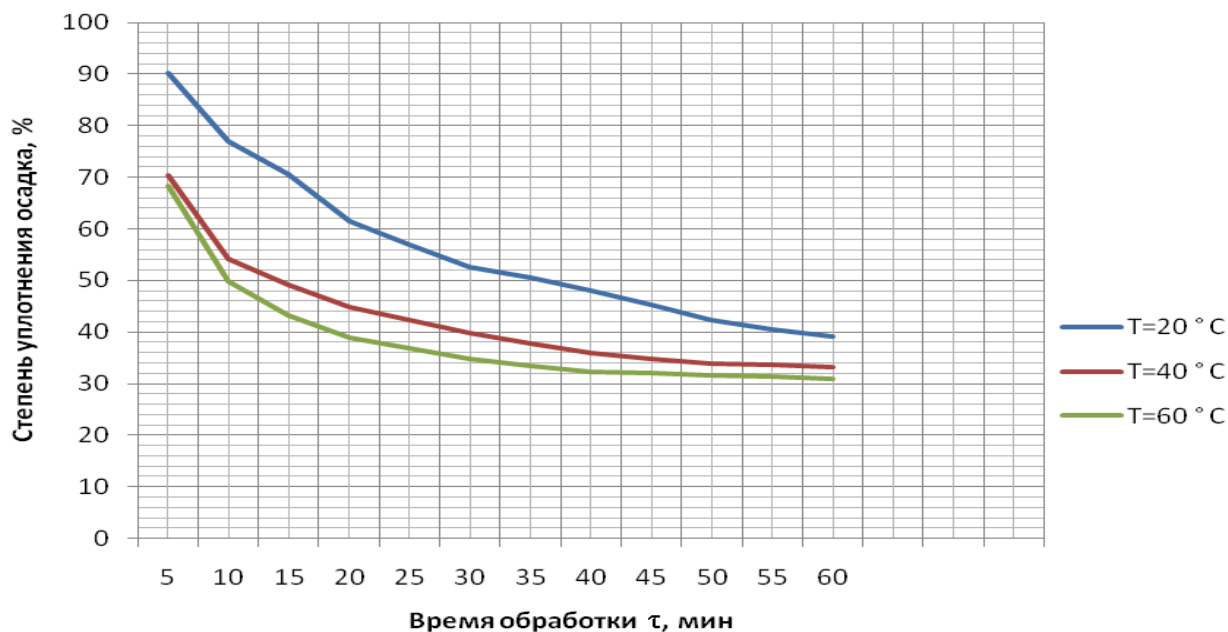


Рисунок 3.23 - Кинетика гравитационного осаждения смеси шламов в зависимости от температуры и времени обработки постоянным электрическим током ( $U=200$  В)

По данным, полученным в ходе проведения экспериментов с использованием формулы (3.19), определены скорости перемещения границы разделения фаз, данные приведены в табл. 3.12.

Таблица 3.12 - Скорости перемещения границы раздела фаз в зависимости от напряжения, см/с

Температура, °С	Напряжение, В			
	0	100	150	200
20	0,0024	0,0074	0,0074	0,0072
40	0,003	0,0077	0,0078	0,0079
60	0,0034	0,008	0,008	0,0081



Определение истинных электрофоретических скоростей перемещения частиц при напряжении 100 В:  $U_1 = 0,0074 - 0,0024 = 0,005 \text{ см/с}$ ;

$$U_2 = 0,0077 - 0,003 = 0,0047 \text{ см/с}; U_3 = 0,008 - 0,0034 = 0,0046 \text{ см/с};$$

при напряжении 150 В:  $U_4 = 0,0074 - 0,0024 = 0,005 \text{ см/с}$ ;

$$U_5 = 0,0078 - 0,003 = 0,0048 \text{ см/с}; U_6 = 0,008 - 0,0034 = 0,0046 \text{ см/с}.$$

При напряжении 200 В:  $U_7 = 0,0072 - 0,0024 = 0,0048 \text{ см/с}$ ;

$$U_8 = 0,0079 - 0,003 = 0,0049 \text{ см/с}; U_9 = 0,0081 - 0,0034 = 0,0047 \text{ см/с}.$$

Определение градиента потенциала электрического тока в зависимости от

напряжения:  $H = \frac{100}{41,5} = 2,41 \text{ В/см}$ ;  $H = \frac{150}{41,5} = 3,61 \text{ В/см}$ ;  $H = \frac{200}{41,5} = 4,82 \text{ В/см}$ .

Тогда  $\xi$  - потенциал будет равен:  $\xi_{100} = \frac{6 \cdot 3,14 \cdot \eta}{81 \cdot 2,41} \cdot U_n = 0,097 \cdot U_n \text{ мВ}$ ;

$$\xi_{150} = \frac{6 \cdot 3,14 \cdot \eta}{81 \cdot 3,61} \cdot U_n = 0,042 \cdot U_n \text{ мВ}; \xi_{200} = \frac{6 \cdot 3,14 \cdot \eta}{81 \cdot 4,82} \cdot U_n = 0,023 \cdot U_n \text{ мВ}.$$

Результаты определения  $\xi$  - потенциала приведены в табл. 3.13

Таблица 3.13 - Значения  $\xi$  – потенциала, мВ, в зависимости от температуры в системе и напряжения электрического тока

Напряжение, В	Температура, °С		
	20	40	60
100	0,5	0,31	0,21
150	0,33	0,21	0,14
200	0,24	0,16	0,11

3.3.3 Анализ экспериментов по осаждению смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха.

После обработки результатов экспериментов получено следующее равенство регрессии:

$$Y = 35,778 + 0,667x_1 - 4,248x_2 + 0,014x_{11}^2 - 0,161x_{22}^2 - 0,808x_1x_2, \quad (3.27)$$

Графическая интерпретация этого равенства (рис. 3.19) и данные табл. 3.11 показывают, что наибольшая степень уплотнения смеси шламов газоочисток аглоцеха и доменных печей – 31,24 % достигается при температуре  $T = 60^\circ \text{C}$  и напряжении электрического тока 200 В, при этих параметрах зафиксировано минимальное значение  $\xi$  – потенциала равное 0,11 мВ (табл. 3.13).

Повышение степени уплотнения смеси шламов газоочисток аглоцеха и доменных печей объясняется причинами, отмеченными при осаждении шламов аглоцеха (раздел 3.2.2). Кроме этого отмечен рост степени уплотнения за счет более плотной укладки крупных и мелких фракций твердой фазы. В данном случае мелкие частицы заполняют поровое пространство между крупными частицами.

Выводы к разделу 3

1. Исследования показали, что наибольшая степень уплотнения смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха достигается при  $T = 60^\circ \text{C}$  и напряжении 200 В, что происходит не только из-за снижения плотности воды при повышении температуры, но и в результате более плотной укладки частиц, что обусловлено снижением сил взаимного электрического отталкивания, облегчением процесса скольжения частиц на границе между частицей и жидкостью в результате падения электрокинетического  $\xi$  – потенциала на поверхности частиц. Данное предположение подтверждается произведенными вычислениями величины  $\xi$  – потенциала, расчеты показывают, что при наименьшем значении  $\xi$  – потенциала достигается большая степень уплотнения шлама.

2. Увеличение скорости гравитационного осаждения и степени уплотнения шламов, обусловлено движением катионов к катоду, что значительно усиливало фильтрацию шламовой воды. Этому благоприятствует уменьшение радиусов гидратированных катионов, которое происходит под влиянием обработки воды электрическим током. Расчеты показывают, что гидратная оболочка иона  $\text{Ca}^{2+}$  уменьшается до радиуса «чистого»  $\text{Ca}^{2+}$  и составляет 1,3 – 1,4 Å.

3. Лучшая степень уплотнения шламов агломерационного цеха – 30,63 %, по сравнению со шламами доменных газоочисток – 44,4 % достигается за счет большей гидравлической крупности частиц, большего их удельного веса. В результате смешивания двух видов шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха в соотношении (2,5-3,0):1 и шламовых вод 7,5:1 при  $T = 60^\circ \text{C}$  и напряжении тока 200 В достигнуто максимальное значение степени уплотнения смеси шламов – 31,2 %.

4. Выполненные исследования позволили теоретически описать процессы гравитационного обезвоживания шламов газоочисток доменных печей и агломерационного цеха под действием постоянного электрического тока и переменных температур. Определить технологические параметры происходящих процессов, необходимые для их практической реализации, сформулирован методологический подход к разработке промышленной технологии и оборудования. В частности, установлены характер доминирующего влияния на характеристику образующихся осадков напряжения постоянного электрического тока, плотностей твердой фазы шламов, температуры и массового соотношения шламов изученных металлургических производств при их совместной переработке.

## РАЗДЕЛ 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ ШЛАМОВ ПОД  
ДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

## 4.1 Исследование процесса фильтрации жидкой фазы шламов

В лабораторной установке (рис. 2.3) размещали образец исследуемой суспензии (поз. 4), отобранный после гидроциклонов-флокуляторов оборотного цикла газоочисток доменных печей, с содержанием твердого  $70 \text{ г/дм}^3$ . После заполнения объема мерного цилиндра (поз. 12) под дренажным колпачком (поз. 7), на электроды (поз. 13) установки подавали постоянный электрический ток напряжением 200 В.

В течение 30 мин происходил процесс формирования осадка над дренажным слоем. Вентилем (поз. 8) на патрубке отвода фильтрата регулировали скорость фильтрации, чтобы емкость цилиндра под дренажным колпачком была постоянно заполнена фильтратом (поз. 10) и электрическая цепь была замкнута. Фильтрат собирали в емкость (поз. 14). Фиксировали перепад уровня осветленной жидкости, толщину слоя осадка, силу проходящего электрического тока (табл. 4.1).

Через систему для отвода газа, образующегося на катоде, по диэлектрической трубке, свободный конец которой находится над источником открытого пламени (поз. 11), удаляли газы. Их анализ подтвердил предположение автора, что в результате электрохимической реакции образуется водород.

Фильтрат, находящийся в зоне катода, не содержал взвешенных частиц. При проведении химического анализа мутность его составила 0 баллов. В результате электрохимических реакций происходящих в объеме отфильтрованной жидкости образовывались хлопья, которые коагулировали и осаждались на дно цилиндра вокруг катода.

Таблица 4.1 - Результаты исследования способности слоя осадка к фильтрации.

№ временно-го интервала	Перепад уровня жидкости, м	Временной интервал, с	Напряжение, В	Сила тока, А	Скорость фильтрации, м/с	Объем фильтрата м <sup>3</sup> /с
1	0,005	152	200	0,039	$3,29 \times 10^{-5}$	$0,41 \times 10^{-7}$
2	0,005	160	200	0,039	$3,13 \times 10^{-5}$	$0,39 \times 10^{-7}$
3	0,015	443	200	0,039	$3,39 \times 10^{-5}$	$0,43 \times 10^{-7}$
4	0,005	169	<b>1,59</b>	<b>0,003&lt;I</b> <b>&lt;0,03</b>	$2,95 \times 10^{-5}$	$0,37 \times 10^{-7}$
5	0,005	47	200	0,06	$10,63 \times 10^{-5}$	$1,34 \times 10^{-7}$
6	0,005	62	<b>2</b>	<b>0,003&lt;I</b> <b>&lt;0,03</b>	$8,06 \times 10^{-5}$	$1,01 \times 10^{-7}$

При обработке суспензии постоянным электрическим током шел электролиз ионов растворенных солей и воды. При этом значительно снижалась концентрация катионов кальция и магния (табл. 4.2), что вело к уменьшению жесткости воды до 2,5 моль/м<sup>3</sup> [59]. Снижение концентрации анионов Cl<sup>-</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и разрядка на аноде проходили не так интенсивно, как катионов. Поэтому движение катионов к катоду значительно повышало гравитационные силы и содействовало увеличению скорости фильтрации осветленной воды. Таким образом, оправдались предположения автора, об уменьшении гидратных чисел катионов и их общих гидратированных радиусов, что в свою очередь облегчало условия удаления осветленной воды из пор твердой фазы шлам. Это подтверждают расчеты гидратных чисел катионов проведенных по числам переноса ионов и электропроводности (Раздел 3).

При отключении источника напряжения в электрической цепи наблюдали наличие электрического тока (табл. 4.1, временные интервалы 4, 6), при этом фильтрация осветленной воды через осадок продолжалась. В [47] это явление описано, как потенциал течения, который возникает при протекании воды под давлением через пористую перегородку. При этом на концах ее появляется разность потенциалов. Разность потенциалов на поверхности осадка зафиксировали на

установленных электродах рис. 2.3: временной интервал 4 – 1,59 В (табл. 4.1); временной интервал 6 – 2 В. Поток жидкости, протекая через систему капилляров, увлекает за собой ионы диффузионной части двойного электрического слоя. Это движение ионов, являясь поверхностным током, и приводит к возникновению разности потенциалов между зонами раствора, разделенными капиллярной системой [46]. Состав полученного фильтрата объемом 0,7 дм<sup>3</sup> анализировали (табл. 4.2).

Таблица 4.2 - Результаты сравнительного химического анализа воды

Наименование показателей	Результаты	
	Осветленная жидкость	Фильтрат
Напряжение постоянного тока, В	-	200
Щелочность, моль/м <sup>3</sup>	8,0	5
рН среды	8,3	9
Жесткость общая, моль/м <sup>3</sup>	8,0	2,5
Ca <sup>+</sup> , моль/м <sup>3</sup>	5,0	1,0
Mg <sup>+</sup> , моль/м <sup>3</sup>	3,0	1,5
Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	365	350
Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	676	646
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	972	904
Перманганатная окисляемость, мг/дм <sup>3</sup>	15,12	23,3

По мере уплотнения осадка удельная электропроводность суспензии снижается с 16,16 до 3,2 Ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>·10<sup>-4</sup> (см. приложение А). В дальнейшем наблюдали повышение электропроводности до 14,33 Ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>·10<sup>-4</sup>, главным образом в результате повышения температуры суспензии и снижения вязкости жидкой фазы, а также, по-видимому, в результате увеличения скорости движения ионов от анода к катоду.

Изменение количества потребляемой электроэнергии пропорционально удельной электропроводности, что подтверждается сопоставлением графиков

зависимостей рис. 4.1, 4.2 построенных по данным табл. А.1, А.2 Приложения А. При обработке исследуемой суспензии постоянным электрическим током имеет место электролиз растворенных в ней солей.



Рисунок 4.1 - Зависимость изменения удельной электропроводности в период проведения эксперимента



Рисунок 4.2 - Зависимость изменения количества потребляемой электроэнергии в период проведения эксперимента

При этом значительно уменьшалось относительно исходной концентрации количество катионов кальция и магния (табл. 4.2), что привело к уменьшению жесткости жидкой фазы до 2,5 моль/м<sup>3</sup>

Кроме этого на катоде выделялся газ и через щелевой колпачок и трубку отводился к источнику открытого пламени для сжигания. Этим газом был водород, который выделялся при разложении бикарбонатного иона  $\text{HCO}_3^-$  и электролиза воды. Это привело к уменьшению жесткости жидкой фазы суспензии и к увеличению pH среды до 9.

Уменьшение концентрации анионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  и разрядка на аноде проходили не так интенсивно, как катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  на катоде.

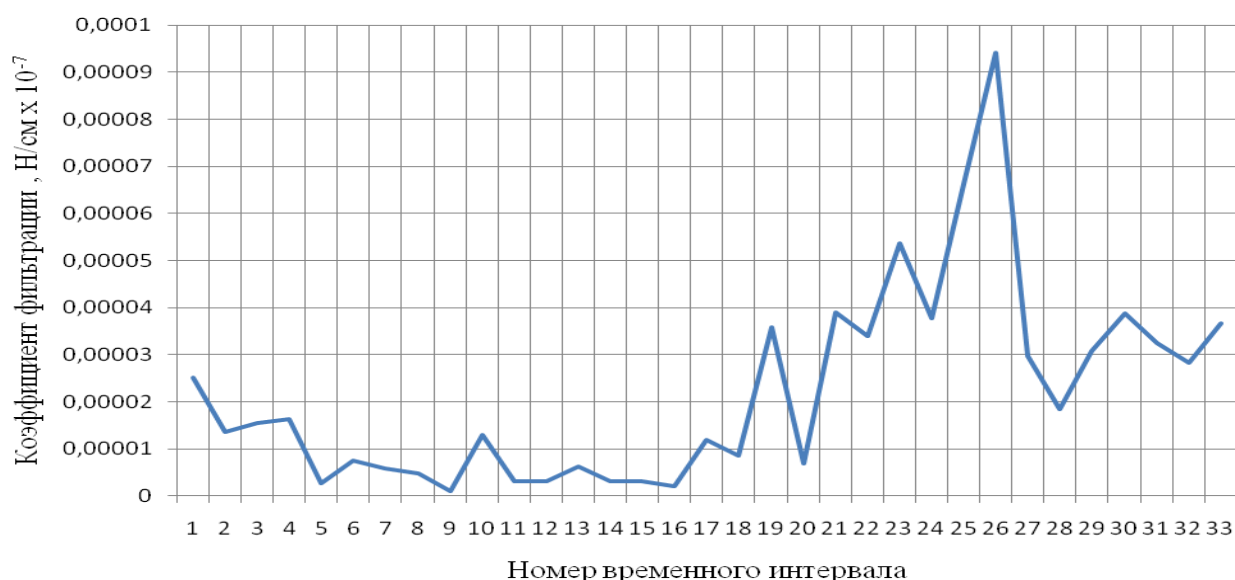


Рисунок 4.3 - Зависимость изменения коэффициента фильтрации от времени проведения эксперимента

Движение катионов к катоду в значительной мере способствовало действию гравитационных сил и увеличению скорости фильтрации жидкой фазы суспензии (рис. 4.3, табл. А.3 Приложения А). Указанный эффект был тем более значимым, что подтвердилось предположение об уменьшении гидратных чисел катионов при



снижении их концентрации и возрастании эквивалентной электропроводности жидкости (см. раздел 3.2).

Для достижения еще большего уплотнения исследуемых шламов и степени обезвоживания было решено увеличить продолжительность их обработки постоянным электрическим током напряжением 200 В. Быстрое уплотнение твердой фазы жидкой фазы суспензии происходило за первые 1800 с эксперимента. Обезвоживание шлама проводили до полного удаления осветленной жидкости над слоем осадка.

При отключении источника тока в электрической цепи лабораторной установки установили по показаниям приборов наличие электрического тока  $0,003 < I < 0,03$  (см. табл. 4.1). Это характеризует процесс движения жидкости через слой осадка, т.к. вместе с этим происходит вынос избытка ионов одного знака по направлению потока жидкости. Движение заряженных ионов представляет собой поверхностный, конвективный электрический ток, в результате чего и появляется разность потенциалов на концах капилляров в слое осадка. Полученная разность потенциалов представляет собой потенциал течения [13]. Из шламового осадка удаляли остатки влаги, при этом электропроводность электрической цепи и расход электроэнергии при максимуме коэффициента фильтрации падали до нуля.

Увеличение степени уплотнения шлама происходит в результате снижения плотности воды при повышении температуры, более плотная укладка частиц обусловлена падением электрокинетического  $\xi$  – потенциала на их поверхности. Все это приводит к уменьшению числа и размеров пор и диаметров капилляров в объеме шлама, которые подобны ионным и обратноосмотическим каналам мембран. На поверхности раздела фаз, проявляются закономерности электроосмоса [14].

В результате проведения экспериментов получен шламовый осадок с влажностью 18 %, что подтверждает возможность регулируемого обезвоживания железосодержащих шламов под действием гравитационных сил с одновременной обработкой постоянным электрическим током. Частичное обезвоживание шламов до 25 % влажности достаточно для использования в агломерационном производстве.

При этом возможно уменьшить обязательное увлажнение шихты и отказаться от механического обезвоживания шламов.

#### 4.2 Исследование электрокинетических явлений возникающих в твердой фазе шламов

##### 4.2.1 Определение электрокинетических $\xi$ – потенциалов на поверхности частиц твердой фазы шламов

Процессы сгущения, осаждения и обезвоживания шламов металлургического производства сначала изучали без применения постоянного электрического тока. Затем были проведены эксперименты по осаждению и гравитационному обезвоживанию шламов при температурах 20, 40, 60 °С с обработкой постоянным электрическим током напряжением 100, 150, 200 В в течение 1 ч (подразделы 3.1, 3.2, 3.3). Жидкую фазу шламов подвергали электролизу, что сопровождалось уменьшением концентрации ионов в ней и уменьшением их ионных радиусов. В результате увеличивалась скорость осаждения и степень обезвоживания твердой фазы шламов. Однако значительный эффект уплотнения при этом не достигался. Шламы газоочисток доменных печей уплотнялись до 44,4 %, шламы газоочисток аглоцеха - до 32 %, а их смеси - до 31 %. Поэтому было решено продолжать более длительную их обработку постоянным электрическим током напряжением 200 В с учетом влияния электрокинетических явлений на границе раздела фаз.

Последующие исследования осаждения шламов проводили на установке (рис. 2.4) для исследования электрокинетических явлений при гравитационном обезвоживании шламов под действием постоянного электрического тока. На первом этапе процесса превалирует электролиз осветленной воды. При этом уменьшается удельная электропроводность и постепенно увеличивается роль электрокинетических процессов на границе раздела фаз.

При увеличении степени уплотнения шламов твердые частицы становятся подобными капиллярным системам, пронизанным порами и каналами. Размеры этих пор и каналов могут колебаться от микроскопических до коллоидных. Твердая фаза,

которая создает капиллярную систему, состоит из отдельных соприкасающихся между собой частей. Капилляры в них могут иметь цилиндрическую, щелевидную или другую форму, быть прямыми или изогнутыми. Капиллярные системы созданные отдельными слежавшимися между собой частицами называются порошковыми системами. В них на границе раздела твердой и жидкой фаз присутствует двойной электрический слой и проявляются электрокинетические явления [13].

Анализ физико-химических процессов коагуляции при осаждении коллоидных и дисперсных частиц показывает, что существенное значение имеет  $\xi$  – потенциал диффузного слоя на частицах твердой фазы. Он возникает за счет адсорбции части ионов из раствора и ионов противоположного знака прилегающего диффузного слоя. Часть их прочно связывается в результате действия адсорбционных сил, образуя плотный двойной электрический слой, а вторая часть противоионов, за счет теплового и броуновского движения не участвует в данном процессе и обуславливает разность потенциалов в системе. Поэтому разница между зарядом адсорбированного слоя и диффузионного слоя внешней двойного электрического слоя является источником силы скольжения фаз и называется  $\xi$  – потенциалом.

Он является важнейшей характеристикой коллоидной системы и определяет устойчивость коллоидов. При достаточно больших значениях  $\xi$  - потенциала ( $\xi > 30$  мВ) коллоидные системы устойчивы, так как силы отталкивания, возникающие между частицами вследствие одинаковых диффузных электрических слоев, препятствуют укрупнению дисперсной фазы. Сточные воды металлургических предприятий – это гетерогенные системы в водном растворе электролита. Для их очистки и осаждения твердой фазы, добавляют специальные вещества – коагулянты (флокулянты, ксантогенаты), которые снижают  $\xi$  – потенциал диффузного слоя, повышают скорость осаждения и эффективность укрупнения частиц.

Механизм переноса жидкости можно описать следующим образом. При наложении внешнего электрического поля к порошковой системе капилляров, ионы диффузного слоя, сохраняя подвижность в электрическом поле, двигаются к полюсу противоположного знака.

Таким образом, в каждом капилляре возникает оболочка ионов диффузного слоя, который двигается к определенному полюсу и захватывает за собой, в результате молекулярного сцепления и трения, всю массу жидкости в капиллярах. После достижения стационарного состояния процесса вся жидкость двигается, как единое целое.

Из изложенного очевидно, что при уменьшении избытка ионов в диффузном слое, процесс переноса жидкости замедляется. Это связано с уменьшением эффективного заряда и  $\xi$  – потенциала, уменьшением движущей силы в электрическом поле, а соответственно, уменьшением количества транспортируемой жидкости.

Напротив, с увеличением избытка ионов в диффузной части, с увеличением  $\xi$  – потенциала растет количество транспортируемой жидкости в единицу времени, то есть растет объемная скорость транспортируемой жидкости  $V$  под действием электрокинетических сил. Таким образом, увеличение объемной скорости прямо пропорционально росту  $\xi$  - потенциала.

При наличии диффузного слоя ионов непосредственно причиной электрокинетического движения жидкости является градиент потенциала на диафрагме  $H$ , обусловленный внешним электрическим полем и действующий вдоль раздела фаз:

$$H = \frac{E}{L}, \quad (4.1)$$

где  $E$  – разность потенциалов между концами капилляра или внешней и внутренней сторонами диафрагмы,  $B$ ;  $L$  – длина капилляра или системы капилляров, см.

Градиенту потенциала пропорциональна линейная скорость жидкости:

$$\omega = \frac{V}{F}, \quad (4.2)$$

где  $V$  – объемная скорость жидкости,  $\text{см}^3/\text{с}$ ;  $F$  – суммарная эффективная площадь поперечного сечения капиллярной системы,  $\text{см}^2$ .

Следовательно, объемная скорость  $V = \omega F$  пропорциональна  $U = \frac{\xi EF}{L\eta}$

Очевидно также, что скорость потока обратно пропорциональна коэффициенту вязкости жидкости  $\eta$ . С учетом вышеизложенного, находим:

$$U = \frac{\xi EF}{L\eta} \text{ или } \xi = \frac{L\eta U}{FE}, \quad (4.3)$$

Используя уравнение Пуассона, которое связывает  $\xi$  - потенциал с зарядом  $\nabla^2 \psi = -\frac{4\pi}{D}\rho$ , находим коэффициент пропорциональности в (4.3), который равен,  $\frac{4\pi}{D}$ , где  $D$  – диэлектрическая проницаемость воды.

Таким образом:

$$\xi = \frac{4\pi L\eta U}{DFE}, \quad (4.4)$$

Эта формула, применяется для одиночных капилляров и не применяется для капиллярных систем из-за трудности определения геометрических структурных параметров  $F$  и  $L$ . Обычно используют формулу, которую легко вывести из приведенной выше. По закону Ома:

$$I = \frac{E}{R}, \quad (4.5)$$

где  $R$  – сопротивление системы, Ом.

Подставляя вместо  $R$  его выражение через удельную электропроводность раствора  $\chi$ , получим:

$$R = \frac{1}{\chi F} \quad , \quad (4.6)$$

и найдем  $E = \frac{H}{\chi F}$ . Подставляя отсюда значения  $E$  в выражение (4.4), получим выражение для определения  $\xi$  – потенциала, который не содержит структурных показателей  $F$  и  $L$ :

$$\xi = \frac{4\pi\eta\chi U}{ID} \quad , \quad (4.7)$$

Удельную электропроводность определяют по формуле:

$$\chi_n = \frac{I_n \cdot L_n}{S \cdot E} \quad , \quad (4.8)$$

где  $L_n$ - расстояние между электродами, см;  $S$  - площадь поперечного сечения цилиндра лабораторной установки, см<sup>2</sup>, (рис. 2.4);  $E$  - напряжение электрического тока, В;  $I_n$  - сила тока, А;  $n$  - порядковый номер определения.

Результаты расчетов электрокинетических потенциалов для шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха, а также для их смеси приведены в приложении Б. Результаты расчетов коэффициентов фильтрации шламов газоочисток доменных печей, аглоцеха и их смеси приведены в приложении В.

4.2.2 Анализ результатов изучения электрокинетических свойств шламов при их гравитационном осаждении под действием постоянного электрического тока.

Проведены эксперименты по способности шламов к обезвоживанию. Обезвоживание проводили гравитационным методом под действием электрического

тока на лабораторной установке (рис. 2.9 Раздела 2). Данные, полученные в ходе проведения эксперимента, позволяют в полной мере определить сложную взаимосвязь электрокинетических процессов, которые происходят при обработке шламов постоянным электрическим током, и провести анализ происходящих процессов.

При проведении эксперимента для расчетов учитывали данные по перемещению границы расслоения фаз суспензии, температуры, силы постоянного электрического тока, данные по перемещению уровня фильтруемой жидкости.

Величина удельной электропроводности во многом зависит от вязкости жидкости, которая уменьшается с ростом температуры суспензии. Начальной температурой для проведения экспериментов принята рабочая температура шламов газоочисток металлургического производства, которая находится в пределах  $56 - 60$  °С. В результате обработки сточных вод электрическим током повышается их температура до  $88$  °С и вязкость жидкости уменьшается до  $0,3239$  сПз. Важным фактором влияющим на величину удельной электропроводности является концентрация свободных ионов в объеме исследуемой суспензии. При обработке электрическим током раствора в результате электролиза происходит снижение концентрации катионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , которые разряжаются на катоде, поэтому на графических зависимостях наблюдается снижение удельной электропроводности.

На рис. 4.4 - 4.6 показаны синхронные данные по удельной электропроводности, величине  $\xi$  – потенциала и коэффициента фильтрации шламов газоочисток доменных печей, аглоцеха и смеси этих шламов.

При общей тенденции к снижению удельной электропроводности отмечены 2 всплеска величин  $\xi$  – потенциала (предположительно, 1-й отвечает  $\xi$  – потенциалу электрофореза, а 2-й –  $\xi$  – потенциалу электроосмоса). Эти увеличения совпадают с величинами коэффициентов фильтрации, которые также растут. Первый всплеск  $\xi$  – потенциала, вероятно, говорит об окончании процесса электрофореза. Это можно объяснить тем, что соединения металлургических шламов  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  [37], положительно заряженные под действием постоянного электрического тока двигаются в сторону отрицательно заряженного катода.

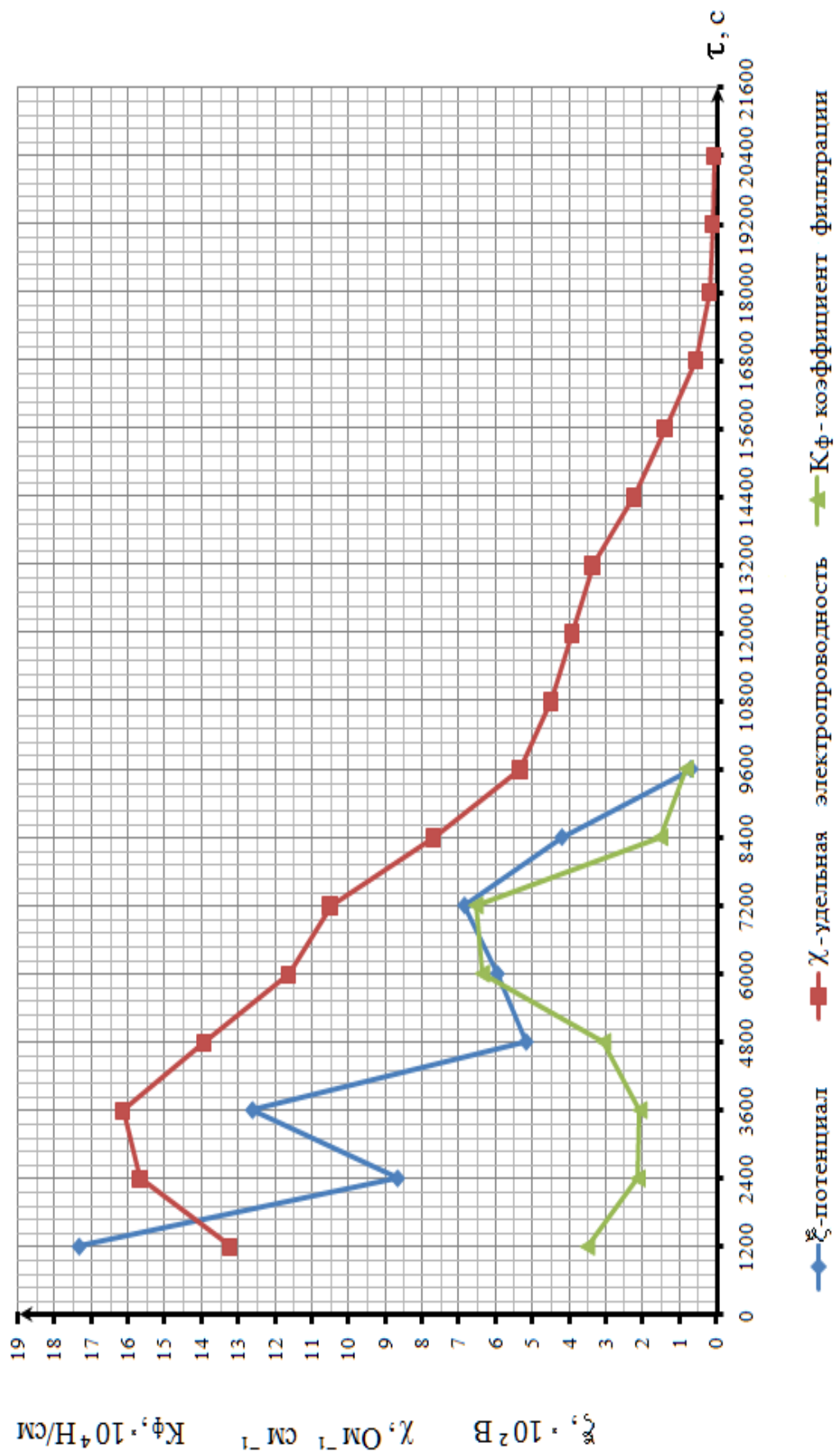


Рисунок 4.4 - Зависимость изменений  $\xi$  – потенциала, удельной электропроводности и коэффициента фильтрации от продолжительности обработки шламов газоочисток аглоцеха постоянным электрическим током



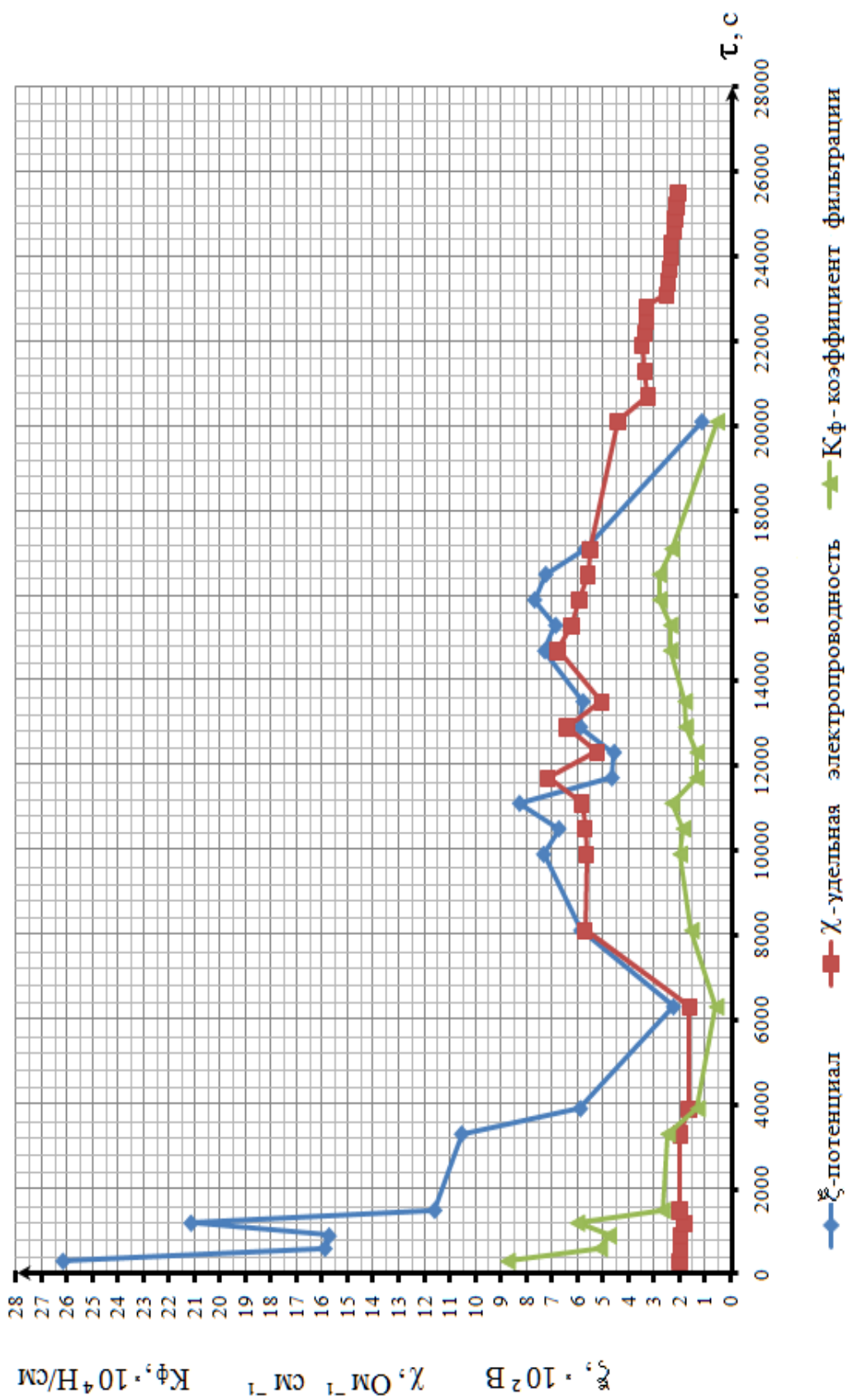


Рисунок 4.5 - Зависимость изменений  $\xi$  – потенциала, удельной электропроводности и коэффициента фильтрации от продолжительности обработки шламов газоочисток доменных печей постоянным электрическим током

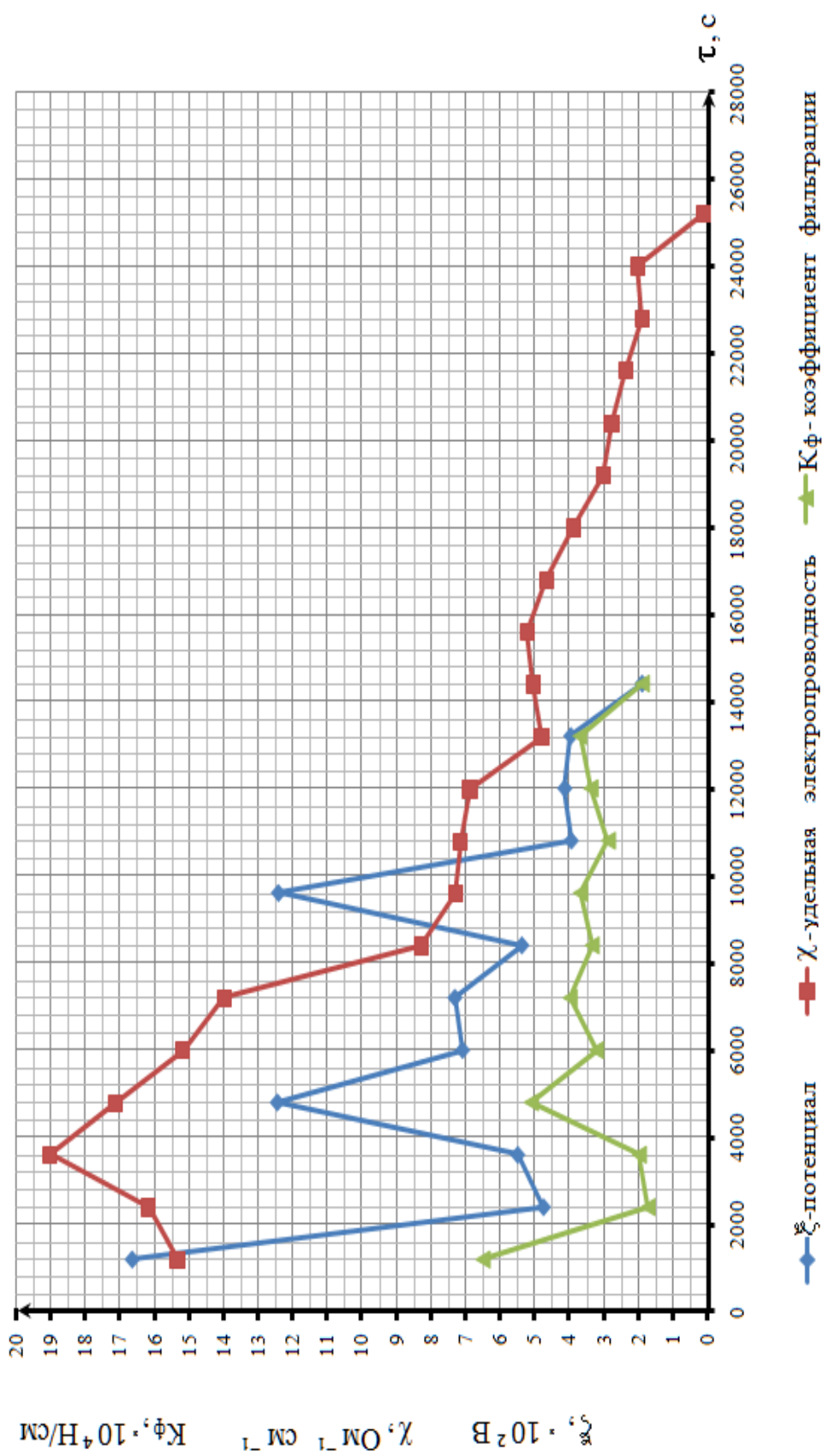


Рисунок 4.6 - Зависимость изменений  $\xi$  – потенциала, удельной электропроводности и коэффициента фильтрации от продолжительности обработки смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха постоянным электрическим током

Если при электролизе воды падает до исчезновения количество катионов, то все положительно заряженные твердые частицы осаждаются в толще шлама, создавая структуру порошковой системы. Рост  $\xi$  – потенциала сопровождается увеличением коэффициента фильтрации, а затем его уменьшением до нуля (фильтрация прекращена, вода отсутствует). Последующая обработка постоянным электрическим током приводит к резкому уменьшению силы электрического тока,  $\xi$  – потенциала и коэффициента фильтрации (прекращается электрический ток из-за отсутствия воды и ионов).

Наблюдается отличие в продолжительности процессов обезвоживания. При равных условиях проведения исследований для полного удаления капиллярной влаги из слоя осадка и достижения влажности осадка менее 10 % наибольшее время было использовано для доменных шламов – 7,06 час, в то время, как шламы аглоцеха обезвоживались до той же степени влажности за 5,66 час.

По-видимому, на процесс фильтрации имеет сильное влияние фракционный состав шламов, шламы газоочисток доменных печей в основном содержат мелкодисперсные частицы, что и обусловило снижение коэффициента фильтрации (см. табл. В.2). Ситуация выравнивается при смешении шламов в пропорции 2,5:1, мелкие частицы шламов газоочисток доменных печей проникают в поры между крупными частицами шламов газоочисток аглоцеха, в результате чего размер капилляров и коэффициент фильтрации усредняются (см. табл. В.1, В.3).

При отключении источника питания от лабораторной установки фиксируем по показаниям амперметра, на электродах наличие постоянного тока ( $I = 0,00027$  А), в результате проявления потенциала течения, которое подтверждает процесс движения растворенных ионов солей и свободных молекул воды по капиллярам в слое осадка.

## Выводы к разделу 4

1. При электролизе жидкой фазы шламов снизилась концентрация катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , уменьшилась жесткость воды до 2,5 моль/м<sup>3</sup>. Снижение концентрации анионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  и разрядка их на аноде проходили не так интенсивно, как катионов.
2. Движение катионов к катоду значительно повышало гравитационные силы и содействовало увеличению скорости фильтрации осветленной воды сквозь поры и капилляры осадка в результате уменьшения гидратных чисел катионов и уменьшения их общих гидратированных радиусов.
3. При отключении источника напряжения в электрической цепи установки определили наличие электрического тока  $0,003 < I < 0,03$ . Это характеризует процесс движения через слой осадка в одном направлении жидкости и ионов. Движение ионов представляет собой поверхностный конвективный ток, в результате чего появляется разность потенциалов (потенциал течения) на концах капилляров в осадке. В результате экспериментов получен шламовый осадок с влажностью 18 %, что подтверждает возможность регулируемого обезвоживания шламов под действием гравитационных сил с обработкой постоянным электрическим током.
4. Исследования показывают, что успех гравитационного обезвоживания шламов под действием постоянного электрического тока зависит от изменения величины  $\xi$  – потенциала на поверхности раздела фаз. Увеличение  $\xi$  – потенциала приводит к увеличению коэффициента фильтрации, обусловленное движением катионов в сторону падения их концентрации.
5. Шламы газоочисток доменных печей имеют малые значения коэффициента фильтрации, что обусловлено их дисперсным и химическим составом. При смешении их со шламом газоочисток аглоцеха в объеме 2,5-3,0:1 и шламовыми водами в пропорции 7,5:1, растет начальная концентрация катионов и увеличивается  $\xi$  – потенциал электроосмоса, что в общем приводит к увеличению коэффициента фильтрации смеси шламов и ускорению ее гравитационного осаждения.

## РАЗДЕЛ 5

### РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАМОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

#### 5.1 Определение оптимальных условий обезвоживания

Цель определения - оптимизация процесса гравитационного обезвоживания под воздействием постоянного электрического тока для сокращения времени обработки и затрат электрической энергии.

Проведенные исследования показывают, что максимальная степень уплотнения шламов сточных вод газоочисток доменных печей и агломерационного цеха достигается при температуре 60 ° С и напряжении 200 В. Это происходит не только из-за снижения плотности воды при повышении температуры, но и в результате более плотной укладки частиц шлама, что обусловлено снижением сил взаимного электрического отталкивания, увеличением скольжения на границе между твердым телом и жидкостью в результате падения электрокинетического  $\xi$  – потенциала на поверхности взвешенных частиц. Данное предположение подтверждается произведенными вычислениями величины  $\xi$  – потенциала, расчеты показывают, что при наименьшем значении  $\xi$  – потенциала достигается большая степень уплотнения шлама.

В результате смешивания двух видов шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха в объемах (2,5-3,0):1 и сточных вод 7,5:1, при температуре 60 ° С и напряжении электрического тока 200 В достигнуто минимальное значение степени уплотнения смеси шламов – 31,2 %. Соотношение смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха 2,5-3,0:1 за счет седиментационных процессов с различным гранулометрическим составом и синергичным действием при этом электрокинетических процессов, позволяет получить минимальное значение степени уплотнения шламов.

Дальнейшие исследования показывают, что эффективность гравитационного обезвоживания шламов под действием постоянного электрического тока зависит от изменения величины  $\xi$  – потенциала на поверхности раздела фаз между осветленной водой и уплотненным осадком. Увеличение  $\xi$  – потенциала приводит к увеличению коэффициента фильтрации, обусловленные движением катионов в сторону падения их концентрации.

У доменных шламов коэффициент фильтрации ниже, чем у агломерационных, что обусловлено их различными физическими характеристиками и химическим составом сточных вод. При смешении шламов и сточных вод доменного и агломерационного цехов в предложенной пропорции повышается начальная концентрация растворенных катионов, соответственно увеличивается  $\xi$  – потенциал на поверхности раздела фаз, что в общем приводит к увеличению коэффициента фильтрации смеси шламов и сокращению времени ее гравитационного обезвоживания.

Очистку сточных вод от железосодержащих шламов на оборотных циклах водоснабжения осуществляют в радиальных отстойниках [71-80], гидроциклонах-флокуляторах [84], а затем сгущают в сгустителях до содержания взвешенных веществ 400-600 г/дм<sup>3</sup>. Дальнейшее сгущение, уплотнение и обезвоживание необходимо проводить в специально созданных аппаратах с производительностью более 10 т/ч по обезвоженному шламу.

Исследования показывают, что скорость гравитационного осаждения шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха достигает 0,8 мм/с, формирование плотного осадка происходит в течение 15-20 мин даже без обработки постоянным электрическим током (см. рис. 3.7, 3.14). В этот период за счет седиментационных процессов осаждения частиц с разным гранулометрическим составом и синергичным действием при этом электрокинетических процессов, происходит уплотнение шламов до 28,6 % и содержания влаги до 35,4 %, поэтому обработка шламов постоянным электрическим током нецелесообразна.

## 5.2 Определение оптимальной длительности процесса обезвоживания шламов

Для определения оптимальной продолжительности процесса обезвоживания шламов следует разбить его на отдельные этапы: I – осаждение; II – уплотнение; III – сушка до 25 % влаги; IV – сушка до 10 % влаги.

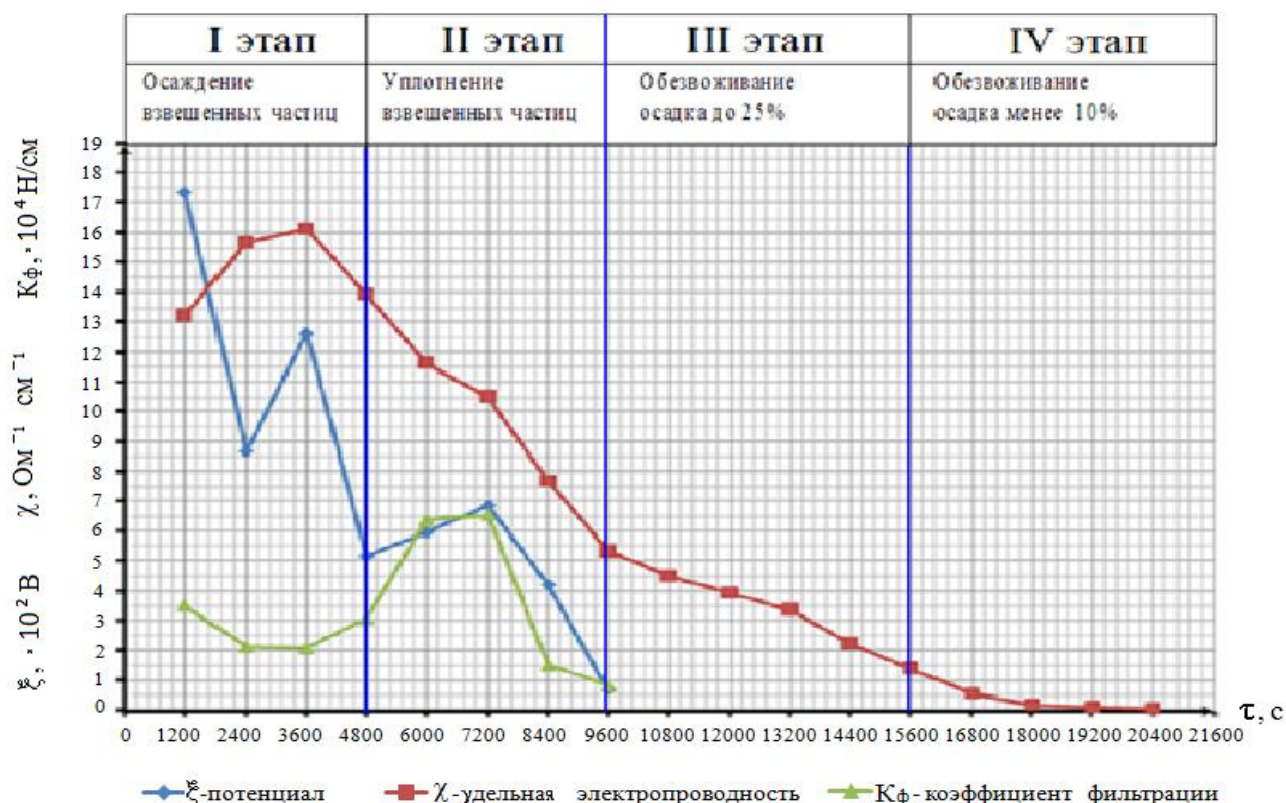


Рисунок 5.1 - Этапы процесса гравитационного обезвоживания шламов газоочисток аглоцеха под действием постоянного электрического тока

На I этапе эксперимента (рис. 5.1), со шламами аглоцеха, идет процесс осаждения за 4800 с, II этапе - уплотнение частиц за 4800 с. На III этапе – обезвоживание шламов до 25 % за 6000 с. На IV этапе - сушка осадка до удаления влаги менее 10 % за 4900 с.

С целью достижения оптимальных условий обезвоживания шламов, целесообразно производить их обработку электрическим током силой не менее 0,22 А, в процессе уплотнения и обезвоживания в течение 10800 с, что достаточно для



достижения влажности осадка менее 25 % (масс.). I этап эксперимента со шламами газоочисток доменных печей по осаждению взвешенных частиц займет 6200 с, II этап - уплотнение частиц – 13800 с. III этап – обезвоживание до 25 % влажности за 3000 с и IV этап - обезвоживание до влажности менее 10 % за 2800 с.

Оптимальными условиями для гравитационного обезвоживания будут обработка шламов газоочисток доменных печей постоянным электрическим током силой не менее 0,22 А, во время уплотнения и обезвоживания до 25 % влажности за 16800 с. I этап - осаждение смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха за 8200 с, II этап - уплотнение взвешенных частиц за 6000 с. III этап – обезвоживание до 25 % влажности за 6000 с, и IV этап - обезвоживание до влажности менее 10 % за 4900 с.

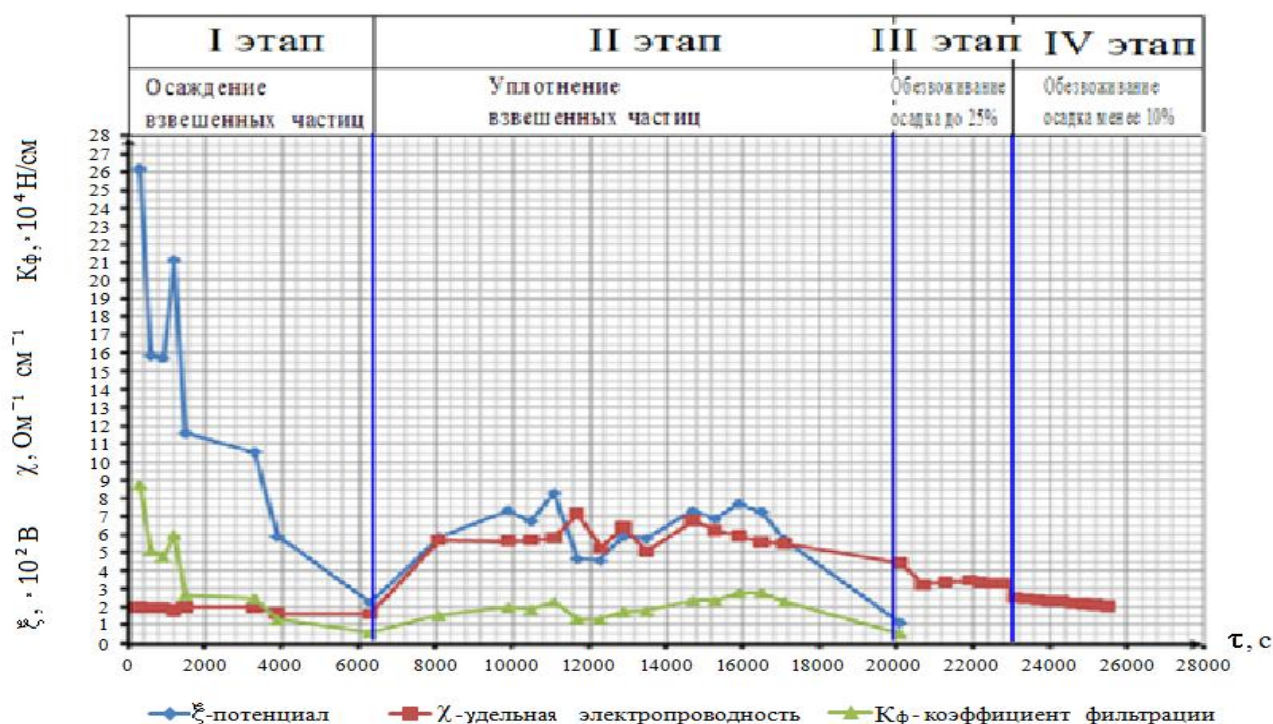


Рисунок 5.2 - Этапы процесса гравитационного обезвоживания шламов газоочисток доменных печей под действием постоянного электрического тока



Оптимальными условиями будут обработка смеси шламов во время уплотнения и обезвоживания до влажности 25 % за 12000 с.

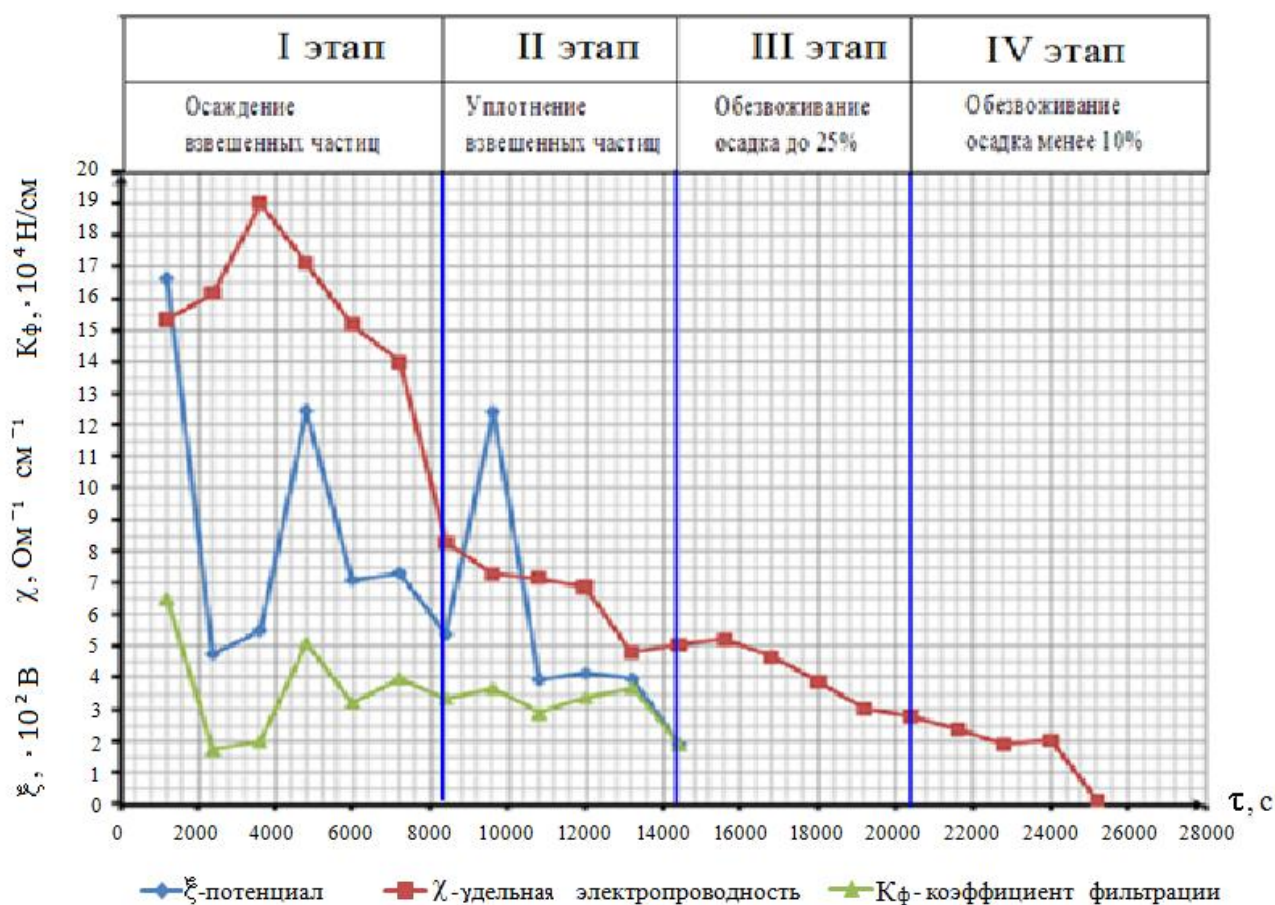


Рисунок 5.3 - Этапы процесса гравитационного обезвоживания смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха под действием постоянного электрического тока

В электрохимии [83] для характеристики происходящих процессов используют понятие плотности электрического тока  $j$ , которая равна отношению силы тока  $I$  к площади поперечного сечения проводника  $S$ , через который проходит электрический ток.

$$j = \frac{I}{S}, \quad (5.1)$$

Результаты расчетов плотности тока приведены в таблицах 5.1, 5.2, 5.3 только для выбранных интервалов обработки.

Таблица 5.1 - Результаты расчетов плотности тока для обезвоживания шламов газоочисток аглоцеха

і-й интервал времени	Этап обработки	Сила тока, А	Средняя удельная плотность тока, А/м <sup>2</sup>	Время обработки, с/ч	Затраты электрической энергии, кВт-ч/м <sup>2</sup>	Затраты электрической энергии на т шлама, кВт-ч/т
5	Уплотнение осадка	0,51	201,7	1,33	40,34	10,09
6		0,54				
7		0,66				
8		0,57				
9	Обезвоживание осадка до 25 %	0,48	116,8	1,67	39,01	9,75
10		0,42				
11		0,36				
12		0,24				
13		0,15				

Таблица 5.2 - Результаты расчетов плотности тока для обезвоживания шламов  
газоочисток доменных печей

і-й интервал времени	Наименова- ние этапа обработки	Сила тока, А	Средняя удельная плотность тока, А/м	Время обра- ботки, ч	Затраты электро- энергии, кВт-ч/м <sup>2</sup>	Затраты электро энергии, кВт-ч/т
11	Уплотнение осадка	0,156	67,7	3,83	36,2	9,06
12		0,156				
13		0,159				
14		0,162				
15		0,204				
16		0,15				
17		0,186				
18		0,15				
19		0,21				
20		0,198				
21		0,195				
22		0,192				
23		0,193				
24						
25	Обезвожи- вание осадка до 25 %	0,174	61,1	0,77	10,14	2,55
26		0,18				
27		0,186				
28		0,18				
29		0,177				
30		0,177				
31		0,135				

Таблица 5.3 - Результаты расчетов плотности тока для обезвоживания смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха

і-й интервал времени	Наименование этапа обработки	Сила тока, А	Средняя удельная плотность тока, А/м <sup>2</sup>	Время обработки, ч	Затраты электроэнергии, кВт-ч/м <sup>2</sup>	Затраты электроэнергии, кВт-ч/т
9	Уплотнение взвешенных частиц	0,3	96,0	1,66	32,06	8,02
10		0,3				
11		0,225				
12		0,256				
13		0,276				
14	Обезвоживание осадка до 25 %	0,264	73,7	1,66	24,62	6,16
15		0,24				
16		0,204				
17		0,198				
19		0,135				

Для более полного представления о происходящих процессах в период обработки постоянным током находим среднее удельное значение плотности тока для каждого этапа обработки на 1 м<sup>2</sup> фильтрующей поверхности осадка по формуле:

$$j_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{i+1} I_i / S}{\sum_{i=1}^{i+1} n} , \quad (5.2)$$

где  $I_i$  – сила тока проходящего через слой осадка в  $i$ -й интервал времени, А;  $S$  – площадь сечения лабораторной установки,  $S = 0,002826 \text{ м}^2$ ;  $\sum_{i=1}^{i+1} n$  – суммарное количество определений.

Таблица 5.4 - Сравнительная таблица энергетических затрат на обезвоживание шламов

Характеристика шлама	Этап обработки	Время обработки, ч	Затраты электроэнергии, кВт-ч/т	Суммарные затраты, кВт-ч/т	Итого затрат, кВт-ч/т
Газоочисток доменных печей	Уплотнение осадка	3,83	9,06	34,69	36,65
	Обезвоживание осадка	0,77	2,55	1,96	
Газоочисток агломерационного цеха	Уплотнение осадка	1,33	10,09	13,42	24,84
	Обезвоживание осадка	1,67	9,75	11,42	
Смесь шламов доменного и агломерационного цехов	Уплотнение осадка	1,66	8,02	13,31	23,54
	Обезвоживание осадка	1,66	6,16	10,23	

5.2.1 Анализ затрат электроэнергии для гравитационного обезвоживания шламов газоочисток доменных печей, аглоцеха и их смеси под действием постоянного электрического тока.

Учитывая особенности седиментационных процессов осаждения частиц с различным гранулометрическим составом и синергичным действием при этом электрокинетических процессов, для оптимизации затрат на гравитационное обезвоживание шламов с обработкой электрическим током, считаем возможным исключение обработки шламов на этапе формирования осадка. После формирования осадка его обработку производить до достижения влажности 25 %, достаточной для утилизации в агломерационном производстве.

Для полного удаления капиллярной влаги из слоя осадка и достижения влажности осадка 24 – 25 % наибольшее время было использовано для доменных

шламов – 16800 с с затратами электрической энергии 36,65 кВт-ч/т, в то время, как шламы агломерационного цеха обезвоживались до той же степени влажности за 10800 с с затратами электрической энергии 24,84 кВт-ч/т, а для обезвоживания смеси шламов понадобилось – 12000 с с затратами 23,54 кВт-ч/т.

Соотношение смеси шламов газоочисток доменных печей и агломерационного цеха, 2,5:1, позволяет на первом этапе за счет седиментационных процессов гравитационного осаждения частиц с различным гранулометрическим составом без обработки электрическим током и синергичным действием при этом электрокинетических процессов на этапе уплотнения осадка, улучшить плотность смеси шламов до 28,6 % и содержание влаги до 35,4 %. Что позволяет оптимизировать затраты электроэнергии, на гравитационное обезвоживание осадка смеси шламов при плотности тока на 1 м<sup>2</sup> фильтрующей поверхности 73,7 А и времени обработки 12000 с до достижения влажности 24 – 25 % затраты электрической энергии составят 23,54 кВт-ч/т.

5.3 Разработка новой конструкции горизонтального отстойника для гравитационного обезвоживания шламов под действием постоянного электрического тока

Модель отстойника за счет особенностей конструкции дна с дренажным слоем и установки графитовых электродов, обеспечивает повышение эффективности обезвоживания до необходимой степени.

Отстойник разработан для обезвоживания осадков металлургических предприятий. Он содержит лотки для подвода сточных вод и отвода осветленной воды, осадочную камеру, дренажную систему. Дно отстойника выполнено в виде желобов заполненных отсевом кокса, и соединенных с дренажными лотками, в которых дополнительно размещены графитовые электроды соединенные с трансформатором постоянного тока. Катоды размещаются в дренажных лотках, аноды – на поверхности сточных вод в осадочной камере.

Горизонтальный отстойник (поз. 1) (рис. 5.4) содержит, лоток (поз. 2) для подвода сточных вод, лоток (поз. 3) для удаления осветленной жидкости и осадочную камеру (поз. 4) для сбора осадка, под которой расположена дренажная система (поз. 5). Дно отстойника выполнено в виде желобов (поз. 6) заполненных отсевом кокса, по периметру отстойника расположены дренажные лотки (поз. 7), в которых размещены графитовые электроды – катоды (поз. 8), на поверхности сточных вод в осадочной камере размещены графитовые электроды – аноды (поз. 9), которые подключены к трансформатору постоянного тока (поз. 10). Дренажные воды собирают в резервуар с насосом (поз. 11), обезвоженный осадок удаляют козловым грейферным краном (поз. 12).

Оборудование работает следующим образом. Горизонтальный отстойник (поз. 1) по лоткам (поз. 2) непрерывно заполняется сгущенной до 70-80 г/дм<sup>3</sup> пульпой, начинается процесс осаждения взвешенных частиц в осадочной камере (поз. 4) с отводом осветленной воды по лоткам (поз. 3) и отводом дренажных вод через дренажную систему (поз. 5), в резервуар отвода дренажных вод с насосом (поз. 11). После заполнения осадочной камеры (поз. 4), подачу пульпы в горизонтальный отстойник (поз. 1) останавливают. От трансформатора (поз. 10), на графитовые электроды – катоды (поз. 8), и графитовые электроды – аноды (поз. 9), подают постоянный ток с интенсивностью не менее 0,22 А.

Накопленный слой осадка продолжает уплотняться, идет процесс электролиза остатков воды в твердом осадке с дегидратацией ионов, что значительно ускоряет процесс обезвоживания, уменьшает степень влажности осадка, уменьшает размеры капилляров в объеме осадка между частицами шлама. После достижения требуемой степени влажности осадок из осадочной камеры (поз. 4) козловым грейферным краном (поз. 12) выгружают и отправляют на вторичную переработку. Очищенный от осадка горизонтальный отстойник снова начинают заполнять пульпой и процесс обработки повторяется.

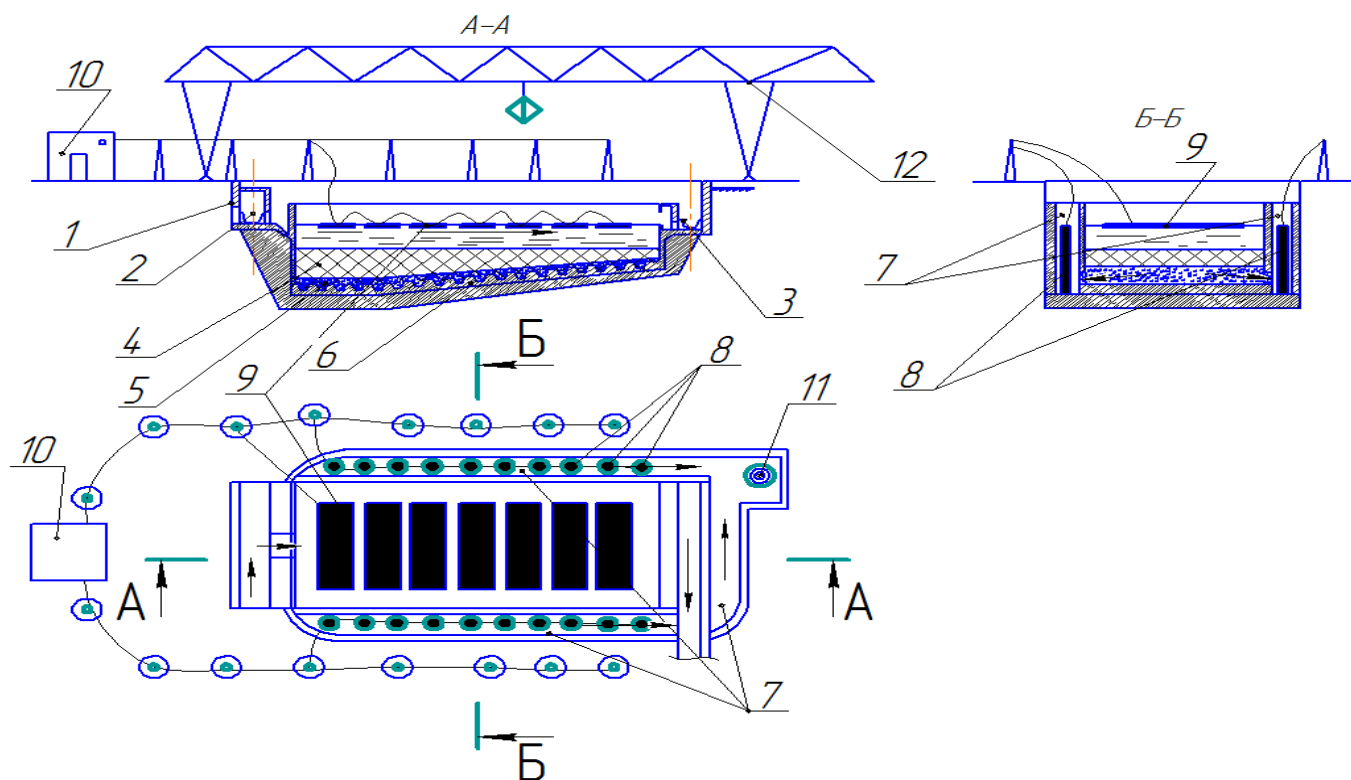


Рисунок 5.4 - Аппаратурно-технологическая схема горизонтального отстойника для обезвоживания железосодержащих шламов. 1 - корпус отстойника; 2 – лоток подводящий; 3 – лоток отводящий; 4 – осадочная камера; 5 – дренажная система; 6 – дно отстойника; 7 – дренажные лотки; 8 – графитовые электроды (катоды); 9 – графитовые электроды (аноды); 10 – трансформатор постоянного тока; 11 – дренажный насос; 12 – грейферный кран

Предлагаемое оборудование обеспечивает обезвоживание железосодержащих шламов, которые входят в состав сточных вод металлургических предприятий, с его помощью может быть достигнута степень обезвоживания  $18 \div 25 \%$ . При плотности тока на  $1\text{ м}^2$  фильтрующей поверхности шламов: газоочисток доменных печей –  $61,1 \text{ А/м}^2$ ; аглоцеха –  $116,8 \text{ А/м}^2$ ; смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха  $73,7 \text{ А/м}^2$ .



5.4 Разработка способа гравитационного обезвоживания смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха под действием постоянного электрического тока.

Нормативными документами предусмотрено сгущение железосодержащих шламов в сгустителях и их механическое обезвоживание на вакуум фильтрах и фильтр-прессах [21], что приводит к значительному увеличению затрат. Известен способ гравитационного обезвоживания в горизонтальных отстойниках без обработки, но при значительной продолжительности процесса (10-15 суток), что приводит к увеличению состава оборудования.

Снижение затрат на обезвоживание железосодержащих металлургических шламов с незначительной продолжительностью технологического процесса возможно за счет воздействия на них постоянным электрическим током. В осадке возникают электроосмотические процессы, с удалением капиллярной влаги – заполняющей пустоты и поры. Потом удаляется адсорбционная влага – находящаяся на поверхности частиц шлама в виде пленок и капель.

Для улучшения процесса обезвоживания железосодержащих шламов металлургического производства, гравитационному осаждению подвергают смесь шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха при соотношении (2,5-3,0):1, и осадок обрабатывают постоянным электрическим током до достижения влажности 23 – 25 %. Затраты электроэнергии при этом составят 6-9 кВт/ч на 1 т шлама.

Соотношение смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха, (2,5-3,0):1, позволяет на первом этапе за счет седиментационных процессов осаждения частиц с различным гранулометрическим составом и синергичным действием при этом электрокинетических процессов, улучшить уплотнение шламов до 28,6 %, в результате падения электрокинетического  $\xi$  – потенциала на поверхности взвешенных частиц и содержание влаги до 35,4 %.

Затраты электроэнергии на этапе гравитационного осаждения исключают, электролиз шламовой воды не проводят, удаление воды с поверхности шлама интенсифицируют дополнительными насосами и эжекторами. На этапе

обезвоживания осадка обработку смеси шламов осуществляют постоянным током с плотностью  $73,7 \text{ А/м}^2$  до достижения влажности 23 – 25 %.

В технологии использования железосодержащих шламов в шихте агломерационного цеха для образования однородной массы шихтовых материалов перед спеканием, достаточно снижения влажности шламов до 25 %, иначе приходится искусственно увлажнять шихту.

Способ осуществляют следующим образом [92]: сточные воды газоочисток доменных печей и аглоцеха поступают на сооружения для улавливания и сгущения взвешенных частиц до концентрации  $400 - 600 \text{ кг/м}^3$  двумя потоками, после чего в соотношении (2,5-3,0):1 направляют на обезвоживание в горизонтальный отстойник [93]. После заполнения осадком горизонтального отстойника и удаления с его поверхности осветленной воды эжектором, подключают установку для обработки осадка постоянным током с плотностью  $73,7 \text{ А/м}^2$  на период 1,67 часа, что достаточно для достижения влажности осадка 25 %, после чего обработку электрическим током прекращают, грейферным краном осадок выгружают из осадочной камеры отстойника в железнодорожные вагоны и направляют для повторного использования на аглофабрику [94].

## 5.5 Экологическая оценка и технико-экономический анализ результатов выполненных исследований и разработок

Для оценки технико-экономической эффективности выполненных разработок рассмотрен ущерб, наносимый попаданием фильтрата ШН в подземные водные горизонты, используемые для питьевого водоснабжения, в водоемы рыбохозяйственного назначения и в рекреационные зоны бассейна р. Днепр, определяемый по методике расчета размера ущерба от поступления загрязнений в водные объекты [95]. Также определена плата за сброс сточных вод полигона ПО в указанные водные объекты в соответствии с Налоговым кодексом Украины [96].

Наиболее распространенными путями попадания фильтрата ШН в водные объекты являются:

- поступление фильтрата ШН в водоносные горизонты, используемые для питьевого водоснабжения;
- сток фильтрата ШН по рельефу прилегающей территории в водоемы рыбохозяйственного, питьевого или хозяйственно-бытового назначения;
- поступление фильтрата ШН рельефу прилегающей территории в водоемы, используемые для рекреационных целей.

Ущерб от загрязнения фильтратом подземных вод определяли в соответствии с утвержденной Минюстом Украины методикой [95] по формуле:

$$Y = K_{\text{кат}} \times K_{\text{РП}} \times L \times \sum_{i=1}^m M_{\Phi i} \times \gamma_i, \quad (5.3)$$

где  $M_{\Phi i}$  – масса  $i$ -го загрязняющего агента, поступившего в водный объект в течение года;  $\gamma_i$  – коэффициент приведения ущерба от поступления фактической массы загрязнений к ущербу от поступления 1 т условной массы загрязнений;  $K_{\text{кат}}$  – коэффициент, учитывающий категорию водного объекта (приведен в табл. 5.5);  $K_{\text{РП}}$  – региональный коэффициент дефицитности ресурсов подземных вод (приведен в табл. 5.6);  $L$  – коэффициент, учитывающий защищенность подземных вод и равный [86]: для грунтовых вод – 1,0; для межпластовых безнапорных – 1,3; для межпластовых напорных (артезианских) – 1,6;  $\gamma_i$  – удельный, экономический ущерб загрязнения  $i$ -тым загрязняющим веществом (грн/т), который определяется по формуле:

$$\gamma_i = \gamma \times A_i, \quad (5.4)$$

где  $\gamma$  – проиндексированный удельный экономический ущерб от загрязнения водных ресурсов в текущем году, грн/т.

Величина  $\gamma$  определяется по формуле [95]:

$$\gamma = \gamma_{\text{п}} \times I / 100, \quad (5.5)$$

где  $\gamma_{\text{п}}$  – проиндексированный удельный экономический ущерб от загрязнения водных ресурсов в предыдущем году, грн/т;  $I$  – индекс инфляции, среднегодовой по Украине, за предыдущий год, %;  $A_i$  – безразмерный показатель относительной опасности  $i$ -го загрязняющего вещества, который определяется по формуле [95]:

$$A_i = 1/\text{ПДК}_i, \quad (5.6)$$

где  $\text{ПДК}_i$  – безразмерная величина, численно равная  $\text{ПДК}_i$  загрязняющего вещества в воде водного объекта соответствующей категории.

Таблица 5.5 - Значения коэффициента учитывающего категорию водного объекта ( $K_{\text{кат}}$ )

Категория водного объекта	$K_{\text{кат}}$
Поверхностные водные объекты хозяйственно-бытового использования	1,0
питьевого водопользования	1,4
Поверхностные водные объекты рыбохозяйственного использования	
II категории	1,6
I категории	2,0
высшей	2,5
Подземные воды	
промышленные	3,0
питьевые	5,0

\* в случае сброса в водный объект в пределах населенного пункта коэффициент увеличивается в 1,2 раза; в случае сброса в озера, пруды и другие непроточные водные объекты коэффициент увеличивается в 1,5 раза.

Для веществ, для которых отсутствует величина ПДК, показатель относительной опасности  $A_i$  принимается равным 500, а при ПДК «отсутствие» – 10 000. Проиндексированный удельный экономический ущерб от загрязнения водных ресурсов  $\gamma$  для условий 2011 года составляет 766,96 грн/т.

Таблица 5.6 - Региональный коэффициент дефицитности подземных вод ( $K_{Pn}$ ), [95]

Области	$K_{Pn}$	Области	$K_{Pn}$
Харьковская	1,19	Донецкая	1,26
Луганская	1,18	Запорожская	1,16

Масса  $i$ -го загрязняющего вещества, которая поступила в подземный водный объект с фильтратом, определялась по формуле [95]:

$$M_{\Phi i} = W_{\Phi} \times C_i \times 10^{-6}, \quad (5.7)$$

где  $W_{\Phi}$  – объем фильтрата за расчетный период (в данном случае за 1 год),  $m^3$ ;  
 $C_i$  – средняя концентрация загрязняющего вещества в фильтрате,  $г/м^3$ .

Объем фильтрата  $W_{\Phi}$ , поступившего в подземные воды, рассчитывался по [95]:

$$W_{\Phi} = 10^{-3} \times H_{oc} \times S_{\Pi+} (W_w - W_{\Phi B}), \quad (5.8)$$

где  $H_{oc}$  – сумма осадков на территории ШН за расчетный период, мм (по данным Гидрометеоцентра, а при отсутствии таких данных – в соответствии со справочными материалами по климатологии);  $S_{\Pi+}$  – площадь действующего ШН,  $м^2$ ;

$W_w$  – объем воды, затраченной на увлажнение отходов,  $m^3$ ;  $W_{фв}$  – количество фильтрата, удаленного из ШН за расчетный период,  $m^3$ .

Площадь ШН, принятого в качестве объекта исследований, –  $216\,000\,m^2 = 21,6$  га. Годовой слой осадков – 681 мм [97]. Полив полигона не производится. Тогда  $W_{ф} = 10^{-3} \cdot 681 \cdot 216\,000 = 147\,046\,m^3/\text{год}$ .

В табл. 5.7 приведены параметры для определения ущерба от поступления фильтрата ШН в подземные воды. Величины  $\gamma_i$  определяли по формуле (5.4). В качестве  $C_{пдкi}$  принимали предельно допустимые концентрации отдельных ингредиентов в водоемах хозяйственно-питьевого водопользования, либо рыбохозяйственного назначения (в дальнейших расчетах).

В соответствии с расчетом, в результате поступления фильтрата ШН в подземные источники питьевых вод ущерб составляет 55 010 грн/год. Ущерб, наносимый поступлением фильтрата в водоем рыбохозяйственного назначения, определяли по формуле [95]:

$$Y = K_{кат} \times K_p \times \sum_{i=1}^m (M_i \times \gamma_i), \quad (5.9)$$

где  $K_p$  – региональный коэффициент дефицитности водных ресурсов поверхностных вод (см. табл. 5.7).

Таблица 5.7 - Региональный коэффициент дефицитности водных ресурсов поверхностных вод ( $K_p$ )

Области	$K_p$	Области	$K_p$
Донецкая	1,26	Харьковская	1,19
Луганская	1,18	Запорожская	1,16

Таблица 5.7 - Параметры для расчета ущерба от сброса фильтрата ШН в водные объекты питьевого водопользования (подземные горизонты)

№ пп	Компоненты состава фильтрата	Ед. изме- рения	Концен- трация компонент в фильтрат	ПДК для питьевых водоемов	Параметры для расчета ущерба от поступления фильтрата в подземные воды		
					$M_{\text{фи}}$ , т/год	$\Gamma_i$ , грн/т	$M_i \cdot \Gamma_i$
1.	БПК-полн.	мг	986	3	145,2	255	37026,00
2.	ХПК	мг	1560	15	227,3	51	11592,30
3.	Железо	мг/дм <sup>3</sup>	7,35	0,3	1,07	2550	2728,50
4.	Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	126,2	500	18,6	1,53	28,46
5.	Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	357,6	350	52,8	2,2	116,16
6.	Азот аммонийн.	мг/дм <sup>3</sup>	35	2,0	5,07	383	1941,81
7.	Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	0,003	3,3	0,00044	232	0,10
8.	Нитраты	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	45	0,015	17	0,26
9.	СПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,1	0,015	7669,6	115,04
10.	Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,4	0,05	0,06	15339	920,34
11.	Полифосфаты	мг/дм <sup>3</sup>	2,5	3,5	0,37	219	81,03
12.	Свинец	мг/дм <sup>3</sup>	0,034	0,03	0,005	25500	127,50
13.	Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	0,0008	1	0,00012	766,96	0,09
14.	Хром (V1)	мг/дм <sup>3</sup>	0,083	0,05	0,012	15339	184,07
15.	Никель	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,1	0,0014	7669,6	10,74
16.	Алюминий	мг/дм <sup>3</sup>	0,04	0,5	0,0056	1533,9	8,59
17.	Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,1	0,014	7669,6	107,37
18.	Медь	мг/дм <sup>3</sup>	0,02	1,0	0,028	766,96	21,47
$У = M_i \cdot \Gamma_i = 55\ 009,84$ грн/год							

Результаты расчета ущерба, наносимого поступлением фильтрата ШН в водоемы рыбохозяйственного назначения приведены в табл. 5.9.

Таблица 5.9 - Расчет ущерба от поступления фильтрата ШН в водные объекты  
рыбохозяйственного назначения

№ пп	Компоненты химсостава фильтрата	Ед. изме- рения	Кон- центра- ция	ПДК для рыбохоз. водоемов	Параметры для расчета ущерба от поступления фильтрата в водоемы рыбохозяйств. назначения		
					$M_i$ , т/год	$\Gamma_i$ , грн/т	$M_i \cdot \Gamma_i$
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	БПК-полная	мг $O_2/дм^3$	986	3	145,2	255	37026,00
2.	ХПК	мг $O_2/д$	1560	15	227,3	51	11592,30
3.	Железо	мг/ $дм^3$	7,35	0,05	1,07	15339	16412,73
4.	Сульфаты	мг/ $дм^3$	126,2	100	18,6	7,67	142,66
5.	Хлориды	мг/ $дм^3$	357,6	300	52,8	2,56	135,17
6.	Кальций	мг/ $дм^3$	180	–	26,5	42,6	1128,90
7.	Магний	мг/ $дм^3$	90	–	13,2	19,2	253,44
8.	Азот аммонийн	мг/ $дм^3$	35	0,5	5,07	1534	7777,38
9.	Нитриты	мг/ $дм^3$	0,003	0,08	0,00044	9587	4,22
10.	Нитраты	мг/ $дм^3$	0,1	40	0,015	19,2	0,29
11.	СПАВ	мг/ $дм^3$	0,1	0,5	0,015	1534	23,01
12.	Нефтепродук- ты	мг/ $дм^3$	0,4	0,05	0,06	15339	920,34
13.	Полифосфаты	мг/ $дм^3$	2,5	не уст.	0,37	1,53	0,57
14.	Свинец	мг/ $дм^3$	0,034	0,01	0,005	76696	383,48
15.	Цинк	мг/ $дм^3$	0,0008	0,01	0,00012	76696	0,92
16.	Хром (VI)	мг/ $дм^3$	0,083	0,02	0,012	38348	460,18



## Продолжение таблицы 5.9

1	2	3	4	5	6	7	8
17.	Никель	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,0014	76696	107,37
18.	Алюминий	мг/дм <sup>3</sup>	0,04	0,04	0,0056	19174	107,37
19.	Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,01	0,014	76696	1073,74
20.	Медь	мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,001	0,028	766960	21474,88
$Y = M_i \cdot r_i = 99\,024,95 \text{ грн/год}$							

Ущерб от поступления фильтрата ШН в водоем рыбохозяйственного назначения составляет: 99 025 грн/год. Т. о., суммарный годовой экономический эффект от предотвращения поступления фильтрата одного ШН в водные объекты питьевого водопользования и рыбохозяйственного назначения составляет более 154 тыс. грн/год. Ниже приведена технико-экономическая оценка внедрения разработанной установки и технологии сокращения объема фильтрата в части снятия с ШН уплаты налога за поступление фильтрата в водные объекты, уплачиваемого в соответствии с Налоговым кодексом Украины [87]. Действующие ставки налога приведены в табл. 5.10 и 5.11 [96].

Таблица 5.10 - Ставки налога за поступление загрязняющих веществ в водные объекты

Название загрязняющего вещества	Ставка налога, грн/т
Азот аммонийный	873,38
Органические вещества (по показателям БПК 5)	349,57
Взвешенные вещества	25,05
Нефтепродукты	5137,9
Сульфаты	25,05
Фосфаты	698,05
Хлориды	25,05

Таблица 5.11- Ставки налога за поступление в водные объекты загрязняющих веществ, которые не вошли в таблицу 5.10 и на которые установлены предельно допустимые концентрации или ориентировочно-безопасный уровень влияния

Предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ или ориентировочно-безопасный уровень влияния, мг/дм <sup>3</sup>	Ставка налога, грн/т
До 0,001 (включительно)	91511,94
Более 0,001–0,1 (включительно)	66350,59
Более 0,1–1 (включительно)	11438,86
Более 1–10 (включительно)	1164,14
Более 10	233,05

С учетом приведенных данных определен налог, который должен платить исследуемый ШН за поступление фильтрата в водные объекты питьевого водопользования (см. табл. 5.12) и в водные объекты рыбохозяйственного назначения (см. табл. 5.13).

Таблица 5.12 - Расчет платы за поступление фильтрата ШН в водные объекты питьевого водопользования (подземные горизонты)

№ п/п	Компоненты химсостава фильтрата	Ед. измерения	Концентрация ингредиента в фильтрате	ПДК для питьевых водоемов	Параметры для расчета платы за поступление фильтрата в подземные воды		
					$M_{\text{фи}}$ , т/год	Ставка налога	Плата за сброс
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	БПК	мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	986	3	145,2	349,57	50757,56
2.	ХПК	мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	1560	15	227,3	233,05	52972,2
3.	Взв. в-ва	мг/дм <sup>3</sup>	1145		168,4	25,05	4218,42
4.	Железо	мг/дм <sup>3</sup>	7,35	0,3	1,07	11438,86	12239,5
5.	Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	126,2	500	18,6	25,05	465,93
6.	Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	357,6	350	52,8	25,05	1322,64

Продолжение таблицы 5.12

1	2	3	4	5	6	7	8
7.	Азот аммонийн.	мг/дм <sup>3</sup>	35	2,0	5,07	873,38	4428,04
8.	Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	0,003	3,3	0,00044	4282,57	1,88
9.	Нитраты	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	45	0,015	75,14	1,13
10.	СПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,1	0,015	66350,59	995,26
11.	Нефтепрод	мг/дм <sup>3</sup>	0,4	0,05	0,06	5137,9	308,27
12.	Полифосф	мг/дм <sup>3</sup>	2,5	3,5	0,37	698,05	258,28
13.	Свинец	мг/дм <sup>3</sup>	0,034	0,03	0,005	66350,59	331,75
14.	Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	0,0008	1	0,00012	11438,86	1,37
15.	Хром (V1)	мг/дм <sup>3</sup>	0,083	0,05	0,012	66350,59	796,21
16.	Никель	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,1	0,0014	66350,59	92,89
17.	Алюминий	мг/дм <sup>3</sup>	0,04	0,5	0,0056	11438,86	64,06
18.	Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,1	0,014	66350,59	928,91
19.	Медь	мг/дм <sup>3</sup>	0,02	1,0	0,028	11438,86	320,29
Итого							130 184,45

Таким образом, плата за поступление фильтрата ШН в подземные источники питьевых вод составляет 130 184 грн/год.

Плата за поступление фильтрата ШН в водные объекты рыбохозяйственного назначения составляет 200 116 грн/год. Суммарный годовой экономический эффект от снятия с ШН уплаты налога за поступление фильтрата в водные объекты питьевого водопользования и рыбохозяйственного назначения составляет 330,3 тыс. грн/год. Общий годовой экономический эффект от внедрения на одном ШН разработанной установки обезвоживания шламов равен 484,3 тыс. грн/год.

Выполнен расчет годовых эксплуатационных затрат, необходимых для функционирования разработанной установки.

Таблица 5.13 - Расчет платы за поступление фильтрата ШН в водные объекты  
рыбохозяйственного назначения

№ пп	Компоненты химсостава фильтрата	Ед. измере ния	Кон- цент- рация	ПДК для рыбохоз. водоемов	Параметры для определения платы за сброс фильтрата в водоемы рыбохозяйственного назначения		
					$M_{\text{фи}}$ , т/год	Ставка налога	Плата за сброс
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	БПК-полн.	мг $O_2$ /дм <sup>3</sup>	986	3	145,2	349,57	50757,56
2.	ХПК	мг $O_2$ /дм <sup>3</sup>	1560	15	227,3	233,05	52972,27
3.	Взв. вещества	мг/дм <sup>3</sup>	1145		168,4	25,05	4218,42
4.	Железо	мг/дм <sup>3</sup>	7,35	0,05	1,07	66350,59	70995,13
5.	Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	126,2	100	18,6	25,05	465,93
6.	Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	357,6	300	52,8	25,05	1322,64
7.	Кальций	мг/дм <sup>3</sup>	180	–	26,5	233,05	6175,83
8.	Магний	мг/дм <sup>3</sup>	90	–	13,2	233,05	3076,26
9.	Азот аммонийн.	мг/дм <sup>3</sup>	35	0,5	5,07	873,38	4428,04
10.	Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	0,003	0,08	0,00044	4289	1,89
11.	Нитраты	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	40	0,015	75,14	1,13
12.	СПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,5	0,015	11438,86	171,58
13.	Нефтепродук ты	мг/дм <sup>3</sup>	0,4	0,05	0,06	5137	308,22
14.	Полифосфат	мг/дм <sup>3</sup>	2,5	не уст.	0,37	9	3,33
15.	Свинец	мг/дм <sup>3</sup>	0,034	0,01	0,005	91511,94	457,56
16.	Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	0,0008	0,01	0,00012	66350,59	7,96
17.	Хром (V1)	мг/дм <sup>3</sup>	0,083	0,02	0,012	66350,59	796,21
18.	Никель	мг/дм <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,0014	66350,59	92,89

Продолжение таблицы 5.13

1	2	3	4	5	6	7	8
19.	Алюминий	мг/дм <sup>3</sup>	0,04	0,04	0,0056	66350,59	371,56
21.	Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,01	0,014	66350,59	928,91
20.	Медь	мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,001	0,028	91511,94	2562,33
	Итого						200 115,64

В диссертационной работе разработана и исследована новая технология гравитационного обезвоживания шламов с обработкой их постоянным электрическим током при изменяемых температурах, без классификации по гранулометрическому составу. Это позволяет сократить объем лежалых шламов, снизить степень загрязнения ОПС, избежать значительных затрат на механическое обезвоживание шламов и получить шламы необходимой влажности. Особо важным можно считать решение социально-экологических проблем регионов Украины с напряженной экологической обстановкой [99-101, 103-111] (Приложение Г).

Процессы механического обезвоживания шламов имеют значительную трудоемкость и сопровождаются затратами на использование электроэнергии, сжатого воздуха, вакуума, воды, пара, фильтровальной ткани. Фильтр-прессы и дисковые вакуумные фильтры, с помощью которых производится механическое обезвоживание, являясь сложными и капиталоемкими агрегатами, вынуждают нести значительные затраты на их ремонт, наладку, амортизацию.

При расчетах ожидаемого экономического эффекта использовались данные за 2009-2012 гг. полученные в техническом отделе, отделе организации труда и бухгалтерии комбината «Запорожсталь», учитывались затраты только на эксплуатацию, обслуживание и ремонт действующего оборудования для механического обезвоживания шламов на оборотных циклах водоснабжения доменного и агломерационного цехов.

Таблица 5.14 - Сравнительный анализ затрат на механическое и гравитационное обезвоживание шламов газоочисток доменных печей

№	Технико-экономические показатели за 2012 г.	Фактические данные	Объем снижения затрат	Затраты на внедрение	Результат после внедрения
1	2	3	4	5	6
1	а) Затраты на электроэнергию при работе двух вакуумных фильтров (в т.ч. вакуумного и шламового насосов ) за 2012 г.	6014257 кВт/ч 5960129 грн.	4881297 кВт/ч 4816880 грн.		1132960 кВт/ч 1143249 грн
	б) Стоимость фильтроткани по расходу за 2009 г.	2519,6 м/п 40839,90 грн.	2519,6 м/п 40839,90 грн.		-
	в) Затраты на сжатый воздух в 2012 г.	2400 тыс.м <sup>3</sup> 108216 грн.	2000 тыс.м <sup>3</sup> 90180грн		400тыс.м <sup>3</sup> 18036грн
	г) Фонд оплаты труда	504000 грн.	504000 грн.		-
	д) Затраты на текущие и капитальные ремонты оборудования за 2012 г.	142012 грн	142012 грн		
2	Закупка козлового грейферного крана			1248500 грн	
3	Изготовление бункеров для шлама			2268000 грн	
4	Сдача металлолома				62000 грн
5	Затраты на НИР	-		148000 грн.	
ИТОГО:		6755196,9 грн	5593911 грн.	3664500 грн.	1223285 грн

Ожидаемая экономическая эффективность от перехода на гравитационное обезвоживание оборотного цикла газоочисток доменных печей:

$$\mathcal{E}_{\text{дом}} = 6\,755\,197 - 1\,223\,285 = 5\,552\,512 \text{ грн}$$

В случае передачи сточных вод после агломерационного цеха на оборотный цикл водоснабжения газоочисток доменных печей ожидаемая экономическая эффективность составит:

$$\mathcal{E}_{\text{агло}} = 1\,761\,547 - 128\,000,00 + 198\,689 = 1\,960\,108 \text{ грн}$$

Суммарный ожидаемый экономический эффект составит:

$$\mathcal{E}_{\text{ожд}} = \mathcal{E}_{\text{дом}} + \mathcal{E}_{\text{агло}} + \mathcal{E}_{\text{эколог}} = 5\,552\,512 + 1\,960\,108 + 484\,300 = 7\,996\,920 \text{ грн}$$

Таблица 5.15 - Анализ затрат на гравитационное обезвоживание шламов газоочисток агломерационного цеха

№	Технико-экономические показатели за 2012 г.	Фактические данные	Объем снижения затрат	Затраты на внедрение	Результат после внедрения
1	а) Затраты на электроэнергию при гравитационном обезвоживании за 2012 г.	864248 кВт/ч 856469,8 грн	864248 кВт/ч 856469,8 грн		-
	в) Затраты на сжатый воздух в 2012 г.	600 тыс.м <sup>3</sup> 27054грн.	600 тыс.м <sup>3</sup> 27054грн		
	г) Фонд оплаты труда	836011грн.	836011 грн.		-
	д) Затраты на текущие и капитальные ремонты	42012грн	42012грн		-
2	Сдача металлолома				198689 грн
3	Затраты на НИР	-		128000 грн.	-
ИТОГО:		1761546,8 грн	1761546,8 грн.	128000 грн.	-

Приведенные данные наглядно свидетельствуют о существенном снижении эксплуатационных затрат с переходом оборотных циклов комбината «Запорожсталь» на предлагаемую технологию гравитационного обезвоживания шламов. Использование данной технологии, позволит значительно сократить сброс сточных вод в шламонакопитель и сократит поступление в водные объекты столь опасных и токсичных веществ, как сточные воды полигонов ПО.

#### Выводы к разделу 5

1. Выполнена экологическая оценка и технико-экономический анализ результатов выполненных исследований и разработок.

2. Определено время оптимальной продолжительности процессов гравитационного обезвоживания шламов. Наименьшие затраты электрической энергии на гравитационное обезвоживание составляют для смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха при плотности тока на  $1 \text{ м}^2$  фильтрующей поверхности  $73,7 \text{ А}$  и времени обработки  $12000 \text{ с}$  -  $23,54 \text{ кВт-ч/т}$ .

3. Разработана принципиальная конструкция горизонтального отстойника для производственного применения, которая обеспечивает обезвоживание железосодержащих шламов до  $18 \div 25 \%$ . При плотности тока на  $1 \text{ м}^2$  фильтрующей поверхности шламов: газоочисток доменных печей –  $61,1 \text{ А/м}^2$ ; аглоцеха –  $116,8 \text{ А/м}^2$ ; смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха  $73,7 \text{ А/м}^2$ . На разработанную конструкцию получен патент.

4. Разработаны способы обезвоживания железосодержащих шламов металлургической промышленности. На разработанные способы получено два патента.

5. Внедрение на металлургическом комбинате «Запорожсталь» предлагаемой технологии позволит повысить экологическую безопасность оборотных циклов агломерационного цеха и газоочисток доменных печей, тем самым снизить ущерб от загрязнения фильтратом подземных вод. В то же время предполагаемый экономический эффект от снижения затрат на обезвоживание шламов составит  $7\,996\,920$  грн.



## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ современных научно-прикладных тенденций в области экологически безопасного природопользования подтвердил необходимость поиска эффективных путей снижения антропогенной нагрузки на окружающую природную среду и обеспечения экологической безопасности в сфере обращения с крупнотоннажными отходами металлургического производства.

2. Выполненные теоретические и экспериментальные исследования основаны на базе комплекса известных методик, подобранных в соответствии со сформулированными задачами исследований, и разработанных автором запатентованных методик

3. На основе полученного представления о физико-химической сущности процессов электроосмоса и электролиза в жидкой фазе обезвоживаемых шламов выявлены важные для практического использования закономерности, количественно характеризующие влияние технологических факторов на остаточное содержание влаги в обезвоживаемых шламах и плотности получаемых осадков.

4. Выполненные исследования позволили теоретически описать процессы гравитационного обезвоживания шламов газоочисток доменных печей и агломерационного цеха под действием постоянного электрического тока и переменных температур по предложенным технологиям и определить их технологические параметры, необходимые для практической реализации процессов, сформулирован методологический подход к разработке промышленной технологии и оборудования. В частности, установлены характер доминирующего влияния на характеристику образующихся осадков напряжения постоянного электрического тока, плотностей твердой фазы шламов, температуры и массового соотношения шламов изученных металлургических производств при их совместной переработке.

5. На базе выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработаны алгоритмы технологических процессов переработки шламов газоочисток доменных печей и агломерационного цеха.

6. Определено время оптимальной продолжительности процессов гравитационного обезвоживания шламов. Наименьшие затраты электрической энергии на гравитационное обезвоживание составляют для смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха при плотности тока на  $1 \text{ м}^2$  фильтрующей поверхности  $73,7 \text{ А}$  и времени обработки  $12000 \text{ с}$  -  $23,54 \text{ кВт-ч/т}$ .

7. Экспериментально подтверждено, что при воздействии постоянным электрическим током на шламы сточных вод газоочисток доменных печей и агломерационного цеха степень их уплотнения повышается. Это обусловлено снижением плотности воды при повышении температуры и более плотной укладкой взвешенных частиц, в результате падения электрокинетического  $\xi$  – потенциала на их поверхности.

8. Установлено, что увеличение скорости гравитационного осаждения и степени уплотнения шламов, происходит в результате воздействия постоянного электрического тока. Также происходит уменьшение радиусов гидратированных катионов  $\text{Ca}^{2+}$ , что подтверждается выполненными в работе расчетами гидратных оболочек ионов кальция

9. Показано, что гравитационное обезвоживание шламов под действием постоянного электрического тока зависит от изменения величины  $\xi$  – потенциала процесса электроосмоса на поверхности раздела фаз, в свою очередь вызывающее увеличение коэффициента фильтрации, обусловленное движением катионов в область падения их концентрации.

10. Полученные в результате исследований данные подтверждают, что при соотношении смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха  $2,5-3,0:1$  и сточных вод  $7,5:1$ , при температуре  $+ 60^\circ \text{ С}$  и напряжении электрического тока  $200 \text{ В}$  достигается повышение степени уплотнения шламов на  $31,2 \%$ . При этом увеличивается коэффициент фильтрации, сокращается время гравитационного обезвоживания, что обусловлено проникновением мелких частиц доменных шламов в поры между крупными частицами агломерационных шламов, повышением начальной концентрации растворенных катионов, увеличением  $\xi$  – потенциала электроосмоса.

11. Разработана принципиальная конструкция горизонтального отстойника для производственного применения, которая обеспечивает обезвоживание железосодержащих шламов до  $18 \div 25$  % при плотности тока на  $1\text{ м}^2$  фильтрующей поверхности шламов: газоочисток доменных печей –  $61,1 \text{ А/м}^2$ ; аглоцеха –  $116,8 \text{ А/м}^2$ ; смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха -  $73,7 \text{ А/м}^2$ .

12. Выполнен технико-экономический анализ и экологическая оценка результатов исследований и разработок. Внедрение на металлургическом комбинате ОАО «Запорожсталь» предлагаемой технологии позволяет снизить ущерб от загрязнения фильтратом подземных вод в районе размещения шламонакопителя. Ожидаемый экономический эффект от снижения затрат на обезвоживание шламов составит 7 996 920 грн.

13. Разработанные на базе результатов выполненных исследований технические решения, обеспечивающие реализацию актуальной научно-технической задачи минимизации экологически опасного воздействия на окружающую природную среду мест накопления крупнотоннажных отходов металлургической промышленности запатентованы в Украине, положительно характеризуют степень повышения экологической безопасности природопользования при их внедрении в производство.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ водопотребления и водоотведения на предприятиях горно-металлургического комплекса Украины за 2004-2005 гг.: материалы Международной научно-практической конф [“Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов ”], (Щелкино, АР Крым, 4-8 июня 2007 г.). / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Х. : «Издательство Сага», 2007. – 454 с.
2. Природно-ресурсний потенціал сталого розвитку України / [Данилишин Б.М., Дорогунцов С.И., Мищенко В.С. и др]. – К.: РВПСУ, НАНУ, 1999 - 716 с.
3. Твердые промышленные отходы Донбасса – нетрадиционный источник минерального сырья : материалы II Международной конф. [«Сотрудничество для решения проблемы отходов»], (Харьков, 20 окт. 2005 г.) –Х.: ИНЖЭК, 2005. – С. 142–146.
4. Удалов І.В. Екологічна оцінка стану ґрунтів на прикладі Брянківської територіально-промислової агломерації (Луганська область) / І.В. Удалов, Ю.С. Кононов, Д.Ф. Чомко. – К. : КНУ ім. Т. Шевченка. –2012. – С. 50 – 52. – (Зб. наук. праць. «Геологія» ; № 58).
5. Формы нахождения токсичных металлов в загрязненных почвах Донецко-Макеевской и промышленно-городской агломерации: материалы Международной научно-практической конф. [«Экологические аспекты загрязнения окружающей среды»], (Киев, 16 апреля 2007 г.).– К. : Обереги, 2007. - С.24-25.
6. Удалов І.В. Еколого-геологічне картографування та моніторинг геологічного середовища / І.В. Удалов, І.К. Решетов. – Х. : ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2012. – 152 с. – (Навчальний посібник для студентів геологічних, географічних та екологічних спеціальностей).
7. Касимов А.М. Управление промышленными отходами : учебное пособие в 2 т. / А.М. Касимов. – Х. : РИП «Оригинал», 2000. - Т. 2: Технологии обезвреживания и утилизации отходов. – 2000. – 318 с.

8. Миняйло В.П. Экологический аудит и комплексная оценка территории при решении проблемы образования и хранения промышленных отходов / В.П. Миняйло, А.М. Касимов. – Х. : УкрГНТЦ «Энергосталь», 2008.– С. 24–28. – (Экология и промышленность ; № 4).
9. Гриценко А.В. Управление промышленными отходами : учебное пособие в 2 т. / А.В. Гриценко, Е.Л. Макаровский, И.Г. Черванев. – Х. : РИП «Оригинал», 2000. - Т. 1, Ч.1.: Промышленные отходы и окружающая среда в современном мире. – 2000. - 80 с.
10. Касимов А.М. Изучение основных свойств экологически опасных отвалов металлургических заводов / А.М. Касимов, А.А. Романовский // Вестн. НТУ «ХПИ». – 2004. – № 47. – С. 9–13.
11. Россман Г.И. Экологическая оценка рудных месторождений / Г.И. Россман, Н.В. Петрова, Б.Г. Самсонов. – М.: РАН, 2000. – 338 с.
12. Дерягин Б.В. Упругие свойства тонких слоев воды / Дерягин Б.В. – Л. : ОНТИ им. Бухарина, 1934. – 144 с. – ( Журнал физической химии, т. III, вып. I.).
13. Григоров О.Н. Электрокинетические явления / Григоров О.Н. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. – 199 с.
14. Руководство к практическим занятиям по коллоидной химии / [ Григоров О.Н., Карпова И.Ф., Козьмина З.П., Фридрихсберг Д.А.]. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1955. – 186с.
15. Дерягин Б.В. Смачивающие пленки / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев. – М. : Высшая школа, 1984. - 298 с.
16. Оно С. Молекулярная теория поверхностного натяжения в жидкостях / С. Оно, С. Кондо ; [пер. с англ.]. – М. : Химия, 1963. – 346 с.
17. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия / П.А. Ребиндер. – М. : Химия, 1978. – 368 с.
18. Русанов А.И. Фазовые равновесия и поверхностные явления / А.И. Русанов. – Л. : Химия, 1967. – 186 с.
19. Плотины из грунтовых материалов. – [Действующие от 1991-01-01]. - М. : Изд. Лит. По строительству, 1991. – 134с. - (СНиП 2.06.05-84. Госстрой СССР).

20. Кармазинов Ф.В., Пробирский М.Д., Васильев Б.В. Опыт Водоканала Санкт-Петербурга по обработке и утилизации осадков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2002. – № 12 (часть 1). – С. 13 – 15.
21. Указания и нормы технологического проектирования и технико-экономические показатели энергетического хозяйства предприятий черной металлургии. Металлургические заводы. : Т. 14. – М. : Главпроект : М-во черной металлургии СССР, 1973. - 58 с – (Нормативный документ Минчермет СССР).
22. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды / Д.М. Минц. – М. : Высшая школа, 1964. – 224 с.
23. Ломтадзе В.Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств песчаных и глинистых грунтов / В.Д. Ломтадзе. – М. : Гос. Изд. геологической литературы, 1972. – 215 с.
24. Руководство по геотехническому контролю за подготовкой оснований и возведением грунтовых сооружений в энергетическом строительстве : РД 34 15.073-91. - [Действующий от 1990-02-09]. - М. : Стройиздат, 1991. – 126 с. – (Минэнерго и электрификации СССР).
25. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации : ГОСТ 25584-90. - [Действующий от 1990-09-01]. - М. : Стройиздат, 1990. – 46 с. – (Государственный строительный комитет СССР).
26. Семиноженко В.П. Промышленные отходы: проблемы и пути решения / В.П. Семиноженко, Д.В. Сталинский, А.М. Касимов ; Монография. – Х. : «Индустрия», 2011. – 510 с.
27. Исследование обогатимости техногенного сырья металлургических предприятий : [Электронный ресурс] / Т.А. Олейник, В.И. Мулявко, Л.В. Скляр, А.И. Егурнов, А.Л. Коханюк // – Режим доступа : <http://cadprograms.ru/articles/technology/889-issledovaniya-obogatimosti-tehnogennogo-syrya-metallurgicheskikh-predpriyatiy.html>
28. Технология и экономическая эффективность переработки железосодержащих отходов (шламов) конвертерного производства ОАО «Северсталь» в прочные

брикеты : [Электронный ресурс] / Е.М. Булыжев, В.Н. Кокорин, А.С. Марков // -  
Режим доступа :

[http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2009/2009\\_3\\_404\\_408.pdf](http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2009/2009_3_404_408.pdf)

29. Ценные металлы и техногенные месторождения : сб. докл. V Междунар. Конгресса по управлению отходами и природоохранным технологиям ВэйстТэк-2007, 12-15 сент. 2007 – М. : СИБИКО Интернэшнл, 2007. – С. 187–189.

30. Основные мероприятия по ликвидации ущерба окружающей среде в районе размещения шламонакопителей промышленных предприятий : [Электронный ресурс] / А.М. Касимов, А.Н. Александров, И.В. Науменко // – Режим доступа : <http://www.eco-mir.net/show/671/>

31. Уменьшение затрат при обезвоживании осадков / [ Сидоренко А.П., Атаманюк А.А., Коваленко В.Е., Музыкина З.С. ]. – Х. : УкрГНТЦ «Энергосталь», 2007. – С. 31-35. – (Экология и промышленность ; №1 (10)).

32. Подготовка шламов на метзаводе для последующего их использования. : материалы XIII Международной научно-практической конф. [“Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов”], (Щелкино, АР Крым, 4-8 июня 2005 г.). / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Х. : «Издательство Сага», 2005. – 306 с.

33. Семиноженко В.П. Структурна революція в економіці як категоричний імператив сучасної політики України / В.П. Семиноженко ; Монографія. – Х.: ІНЖЕК, 2008. – С. 9–26.

34. Управление опасными промышленными отходами. Современные проблемы и решения / [ Касимов А.М, Тобажнянский Л.Л., Тошинский В.И., Сталинский Д.В.] Касимов А.М. ; Монография. – Х. : Изд-во НТУ «ХПИ», 2009. – 510 с.

35. Касимов А.М. Промышленные отходы. Проблемы и решения. Технологии и оборудование / А.М. Касимов, В.Т. Семенов, А.А. Романовский. – Х. : ХНАГХ, 2007. – 411 с.

36. Современные проблемы и решения в системе управления опасными отходами / [ А.М. Касимов, В.Т. Семенов, Н.Г. Щербань, В.В. Мясоедов ]. – Х.: ХНАГХ, 2008. – 510 с.

37. Удалов И.В. Формирование базы данных при выполнении гидрогеохимических исследований Харьковской городской агломерации / И.В. Удалов, О.В. Гаврилюк, И.К. Решетов. – Х.: НТУ “ХП”., 2011. – С. 118–123. – (Зб. наук. праць. Тематичний випуск «Хімія, хімічна технологія та екологія» ; № 59).
38. Важкі метали в підземних водах Харківської області : матеріали III науково-практичної конф. [«Водні ресурси. Проблеми раціонального використання, охорони та відтворення»], (Коктебель, АР Крим, 16-18 вересня 2010 р.) / НПЦ «Екологія Наука Техніка». – Х. : «Издательство Сага», 2010. – С. 78 – 79.
39. Некоторые биологические подходы к нормированию содержания тяжелых металлов в почве металлургических регионов : материалы II Международной. конф. [«Сотрудничество для решения проблемы отходов»], (Харьков, 20 окт. 2005 г.). – Х. : ИНЖЭК, 2005. – С. 210–211.
40. Касимов А.М. Пути сокращения ущерба окружающей среде при размещении шламонакопителей промышленных предприятий / А.М. Касимов, А.А. Романовский. – Х. : Факт, 2004. – С. 237–244. – (Зб. наук. праць «Проблеми охорони навколишнього середовища та екологічної безпеки»).
41. Касимов А.М. Воздействие накопителей промышленных отходов на окружающую среду / А.М. Касимов, В.Ю. Джафаров – Х. : Райдер, 2004. – С. 64–67. - (Людина і довкілля. Проблеми неоекології. ; №5).
42. Шабалин А.Ф. Использование и очистка сточных вод на предприятиях черной металлургии / А.Ф. Шабалин. – М. : Металлургия, 1968. – 508 с.
43. Методика определения дисперсного состава пыли и других порошковых материалов на седиментационных весах «Сарториус». - М. : Наука, 1989. - 23 с. – (Геттинген. Германия).
44. Шиммель Г. Методика электронной микроскопии / Г. Шиммель. - М: Мир, 1982. - 300 с.
45. Градус Л.Я. Руководство по дисперсному анализу методом микроскопии / Л.Я. Градус. - М. : Химия, 1989. - 232 с.
46. Патент №61999 Україна, МПК (2011.01) C02F 11/00, C02F 11/12. Пристрій для визначення коефіцієнта фільтрації осадів / Атаманюк О.А., Назаренко М.П.,



Омельчак А.Г.; заявник Запорізька Державна Інженерна Академія. – заявл. 04.01.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл. №15. – 4с.

47. Патент № 68265 Україна, МПК (2012.01) G01N 27/00, G01N 27/26. Пристрій для дослідження електрокінетичних властивостей завислих часток / Атаманюк О.А., Назаренко М.П., Зімненко К.В.; заявник Запорізька Державна Інженерна Академія. - заявл.12.07.2011; опубл. 26.03.12, Бюл. №6. – 4с.

48. Дамаскин Б.Б. Электрохимия / Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий, Г.А. Цирли [2-е изд., испр. и перераб]. - М. : Химия, 2006. - 672 с.

49. Морозов М.В. Визначення параметрів частинок сумішок в процесах електрофореза і седиментації методами лазерної інтерферометрії / М.В. Морозов, С.І. Мовчан. - Харків : ХДТУБА, 2001. – С.166-170. – (Науковий вісник будівництва ; вип. 15).

50. Delsa™ Nano. Анализаторы размера субмикронных частиц и определения дзета-потенциала / [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.soctrade.com/equipment/delsa\\_nano/](http://www.soctrade.com/equipment/delsa_nano/)

51. Zetasizer Nano. Анализ размера наночастиц и молекул, дзета-потенциала и молекулярной массы/ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.rusnanonet.ru/equipment/zetasizer\\_nano/](http://www.rusnanonet.ru/equipment/zetasizer_nano/)

52. Анализаторы размера частиц производства PARTICLE SIZING SYSTEMS / [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.alsichrom.com/equipment/?l=cat&ids=131>

53. Анализатор размеров частиц Photocor Compact / [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.photocor.ru/particle-size-analyzer/>

54. Касимов А.М. Изучение основных свойств экологически опасных отвалов металлургических заводов / А.М. Касимов, А.А. Романовский. – Х. : Изд. «ХПИ», 2004. - С. 9-13. - (Вестник НТУ «ХПИ» ; №47).

55. Атаманюк А.А. Исследование влияния постоянного электрического тока и температуры суспензии на процессы гравитационного осаждения и уплотнения шламов металлургического производства / А.А. Атаманюк, А.М. Касимов,

- Н.П. Назаренко.– М. : ОАО «Черметинформация», 2012. - 84с. – (Бюл. научно-технической и экономической информации «Черная металлургия» ; №6(1350)).
56. Курганов А.М. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров. – Л. : Стройиздат, 1978. – 424с.
57. Дамаскин Б.Б. Электрохимия / Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий, Г.А. Цирли [2-е изд., испр. и перераб]. - М. : Химия, 2006. - 672 с.
58. Соколович Ю.А., Богданова Г.С. // Фізика. Довідник з прикладами розв'язання задач. – 4-те вид. – Х.: Веста, 2010. – 464с.
59. Атаманюк О.А. Дослідження електрокінетичних явищ при зневодненні металургійних шламів / О.А. Атаманюк, М.П. Назаренко, О.М. Назаренко. – Львів : Вид. НУ «Львівська політехніка», 2010. - С. 221-223. – (Вісн. національного університету «Львівська політехніка». Хімія, технологія речовин при їх застосуванні ; №667).
60. Атаманюк А.А. Способ исследования фильтрационных свойств металлургических шламов / А.А. Атаманюк, А.М. Касимов. – Х. : ГП «УкрНТЦ «Енергосталь», 2013. – С. 89-95. – (Екологія и промышленность ; №2)
61. Адамсон А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон ; [пер. с англ.]. – М. : Химия, - 1979.– 348 с.
62. Гиббс Дж. В. Термодинамика. Статическая механика / Дж. В. Гиббс. – М. : Стройиздат, 1982. – 384 с.
63. Адамсон А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон ; [пер. с англ.]. – М. : Химия, - 1979.– 348 с.
64. Гиббс Дж. В. Термодинамика. Статическая механика / Дж. В. Гиббс. – М. : Стройиздат, 1982. – 384 с.
65. Бисеров Р.А. Методич. указания по организации и проведению научно-исследовательских работ / Р.А. Бисеров, Н.П. Назаренко, Н.А. Украинец. – Запорожье : ЗГИА, 2002 – 55 с.
66. Сучасний стан поводження з відходами міста Запоріжжя: проблеми і шляхи вирішення : матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конф. [“Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення ”], (Алушта, АР Крим, 10-14 вересня 2012 р.).

– Х.: Райдер, 2012. – 296 с.

67. Бакеев М.И. Теория гидратации и свойства растворов электролитов / М.И. Бакеев. — Караганда: Изд-во КарГУ им. Е.А. Бекетова, 2004. - 150 с.

68. Долженко Л.А. Обезвоживание осадков сточных вод : Методические указания к практическим занятиям по дисциплинам «Водоотведение и очистка сточных вод» и "Механическое оборудование водопроводно-канализационного хозяйства". Ч. 1. / Л.А. Долженко, С.Н. Резникова. – Ростов – на – Дону : РГСУ, 2008. – 23 с.

69. Эпоян С.М. Исследование зависимости водоотдачи смеси осадков городских сточных вод / С.М. Эпоян, Е.Н. Орлова. – Харків : ХДТУБА, 2010. – С.228-231. – (Науковий вісник будівництва ; вип. 58).

70. Плотины из грунтовых материалов. – [Действующие от 1991-01-01]. - М. : Изд. Лит. По строительству, 1991. – 134с. - (СНиП 2.06.05-84. Госстрой СССР).

71. Кармазинов Ф.В. Опыт Водоканала Санкт-Петербурга по обработке и утилизации осадков / Ф.В. Кармазинов, М.Д. Пробирский, Б.В. Васильев. – М. : Изд. ВСТ, 2002. – С. 13 – 15. – (Водоснабжение и санитарная техника ; № 12).

72. Храменков С.В. Комплексное решение проблемы по разработке и внедрению современных технологий рекультивации территорий иловых площадок станций аэрации с возвращением выведенных из оборота земель / С.В. Храменков. – М. : Изд. ВСТ, 2002. – С. 17 – 20. – (Водоснабжение и санитарная техника ; № 12).

73. Обработка и утилизация осадков на Московских станциях аэрации / [Храменков С.В., Загорский В.А., Пахомов А.Н., Данилович Д.А.]. – М. : Изд. ВСТ, 2002. – С. 7 – 12. – (Водоснабжение и санитарная техника ; № 12).

74. Направления решения вопроса обезвоживания и утилизации осадков городских сточных вод. : материалы XII Международной научно-практической конф. [“Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов”], (Щелкино, АР Крым, 3-7 июня 2005 г.). / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Х. : Райдер, 2004. – 416 с.

75. Эффективные методы и оборудование для интенсификации обезвоживания осадков городских сточных вод на иловых площадках / [ Эпоян С.М., Карагяур А.С.,

- Сорокина В.Е., и др. ]. – Одеса: Вид. «Optimum», 2011. – С. 307-314. – (Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури ; вип. 42).
76. Болотских Н.С. Интенсификация обезвоживания осадков на станциях очистки сточных вод / Н.С. Болотских, В.П. Иванов, Е.Б. Клейн. – Х. : ХДТУБА, 2001. – С. 13-15. – (Науковий вісник будівництва ; вип. 13).
77. Обезвоживание осадков городских сточных вод на иловых площадках / [ Эпоян С.М., Сорокина В.Е., Карагяур А.С., Олейник А.Я. ]. – К. : Техніка, 2007. – С. 76-80. – (Коммунальное хозяйство городов. Научн. техн. сб. ХНАГХ ; вып. 74).
78. Эпоян С.М. Исследование зависимости водоотдачи смеси осадков городских сточных вод / Эпоян С.М., Орлова Е.Н.. – Х. : ХДТУБА, 2010. – С.228-231. – (Науковий вісник будівництва ; вип. 58).
79. Совершенствование методов и моделей расчета процессов обезвоживания и фильтрации осадков городских сточных вод на иловых площадках / [ Эпоян С.М., Орлова Е.Н., Сорокина В.Е., Карагяур А.С. ]. – Х. : ХДТУБА, 2010. – С. 324-334. – (Науковий вісник будівництва ; вип. 60).
80. Распределение осадка по поверхности осаждения в сооружениях для осветления воды отстойного типа / [ Эпоян С.М., Карагяур А.С., Сыроватский А.А. и др. ]. – Одеса : Вид. «Optimum», 2011. – С.314-316. – (Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури ; вип. 42).
81. Метод измерения величины электрокинетического потенциала коллоидных частиц в растворе : Материалы XXXIV научно-технической конференции молодежи, (Запорожье, 22-23 ноября 2007 г.) / ОАО «Запорожсталь». – Запорожье : ОАО «Запорожсталь», 2007. – С. 97-98.
82. Курганов А.М. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров. – Л. : Стройиздат, 1978. – 424 с.
83. Дамаскин Б.Б. Электрохимия / Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий, Г.А. Цирлина. – М. : Химия, 2001. – 386 с.
84. Пантелят Г.С. Системы водоснабжения металлургических производств, исключяющих сброс отработанных вод в водоемы: дисс. доктора техн. наук : 05.23.04 / Пантелят Гарри Семенович. – М., 1985. – 517 с.

85. Исследование механизма сгущения суспензий / [ Мурзин А.Р., Таганов И.И., Лавров И.С. и др. ]. – Л. : Изд. «Наука», 1965. - С. 870-877. – ( Журнал прикладной химии ; вып. 4).
86. Атаманюк А.А. Совершенствование способов гравитационного уплотнения суспензий и обезвоживания осадков / А.А. Атаманюк, А.П. Сидоренко, А.М. Касимов. – Харьков: Технологический центр, 2009. – С.25-30. – (Восточно-Европейский журнал передовых технологий ; вып. ¼ (37))..
87. Бакеев М.И. Гидратация и физико-химические свойства растворов электролитов / М.И. Бакеев. – Алма-Ата : Изд. «Наука» КССР, 1978. – 244 с.
88. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии / С.С. Воюцкий. – М. : Химия, 1976. – 512 с.
89. Менделеев Д.И. Основы химии : в 2 т. / Д.И. Менделеев. – М. : Госхимиздат, 1932. – Т. 1. - 816 с.
90. Оценка техногенно-экологической опасности накопителей промтоходов, размещенных на побережье Азовского моря : Сб. научных трудов XIII международной научно-технической конф. [«Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов»], (Харьков, 2005 г.) / УкрВОДГЕО. - Х. : УкрВОДГЕО, 2005. - С. 157-163.
91. Байрамов В.М. Основы электрохимии / В.М. Байрамов. - М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 426 с.
92. Патент № 68489 Україна, МПК C02F 11/12. Спосіб зневоднення осадів залізовмісних шламів металургійного виробництва / Атаманюк А.А., Назаренко Н.П., Сокольник В.И.; заявник Запорізька Державна Інженерна Академія. - заявл. 19.09.2011; опубл. 26.03.2012, Бюл. № 6. – 4с.
93. Патент № 62010 Україна, МПК C02F 11/00, C02F 11/12. Устаткування для зневоднення осадів стічних промислових та комунальних вод / Атаманюк А.А., Сидоренко А.П., Назаренко Н.П.; заявник Запорізька Державна Інженерна Академія. - заявл. 10.08.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл. № 15. – 4с..
94. Энергосберегающая технология обезвоживания шламов металлургического производства : Материалы XXXV научно-технической конференции молодежи,

(Запорожье, 30-31 октября 2008 г.) / ОАО «Запорожсталь». – Запорожье : ОАО «Запорожсталь», 2008. – 67с.

95. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів : за станом на 2 липня 2012 р. – офіц. вид. – К. : ГРІФРЕ : М-во екології та природних ресурсів України, 2012. – 7 с. - (Нормативний документ Мінекології України. Методика).

96. Податковий кодекс України : за станом на 1 листопада 2012 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Парлам. вид-во, 2013 р. – 46 с. - (Бібліотека офіційних видань).

97. Строительная климатология и геофизика. - [Действующие от 1983-01-01]. – М. : Изд. Лит. По строительству, 1991. – 136 с. - (СНиП 2.01.01-82. Госстрой СССР).

98. Oecd, Anthony Zamparutti. Environment in the Transition to a Market Economy: Progress in Central and Eastern Europe and the New Independent States (Russian version) / Oecd, Anthony Zamparutti. – OECD Publishing, 2000. – 320 с.

99. Способ подготовки к обезвоживанию окалины прокатного производства ОАО «Запорожсталь» : Материалы XXX научно-технической конференции молодежи, (Запорожье, 4-5 декабря 2003 г.) / ОАО «Запорожсталь». – Запорожье : ОАО «Запорожсталь», 2003. – С. 62-63.

100. Извлечение из сточных вод, обезвоживание и утилизация замасленной окалины прокатного производства / [ Атаманюк А.А., Сидоренко А.П., Коваленко В.Е., Назаренко А.Н. ]. – Х. : УкрГНТЦ «Энергосталь», 2007. – С.14-17. – (Экология и промышленность ; вып. 2 (11)).

101. Пути энергосбережения при обезвоживании осадков замкнутых систем водоснабжения заводов горнорудной и металлургической промышленности : Тези доповідей XI науково-технічної конф. студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА. [«Енергетика та енергозбереження». Частина IV.], (Запоріжжя, 17 - 21 квітня 2006 р.) / Запорізька Державна Інженерна Академія. – Запоріжжя : Вид. ЗДІА, 2006. – С. 35-36.

102. Бронштейн И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн.,

К.А. Семендяев. – М. : Наука, 1967. - 602 с.

103. Пат. 52419 А Україна, МПК 7 C02F1/52. Спосіб просвітлення стічних вод прокатного виробництва / Сидоренко О.П., Ликов О.А., Атаманюк О.А., Коваленко В.Ю.; заявник і патентовласник Відкрите акціонерне товариство «Запорізький металургійний комбінат «Запоріжсталь». - №2002053872; заявл. 11.05.2002; друк. 16.12.2002, Бюл. №12.

104. Атаманюк О.А. Залежність швидкості дисперсної фази суспензії від властивостей двофазного потоку / О.А. Атаманюк, О.М. Касимов, О.М. Назаренко. – Івано-Франківськ : Вид. «Факел», - 2009. – С. 108 – 113. – (Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу ; №2 (20)).

105. Атаманюк А.А. Спосіб дослідження фільтраційних властивостей металургічних шламов / А.А. Атаманюк, А.М. Касимов. – Х. : УкрГНТЦ «Енергосталь», 2013. – С. 89-93. – («Екологія і промисловість» ; №2).

106. Технологія обезвоживання замащеної окалини в прокатному виробництві ОАО ЗМК «Запорожсталь» : Сб. наукових статей XV міжнародної науково-практичної конф. [«Екологія і здоров'я людини. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів»], (Щелкино, АР Крим, 4-8 червня 2007 г.) / УкрГНТЦ «Енергосталь». – Х. : Изд. «Сага», 2007. – С. 352-357.

107. Накопичувачі забруднень стоків : Сб. наукових статей XV міжнародної науково-практичної конф. [«Екологія і здоров'я людини. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів»], (Щелкино, АР Крим, 4-8 червня 2007 г.) / УкрГНТЦ «Енергосталь». – Х. : Изд. «Сага», 2007. – С. 242-245.

108. Касимов А.М. К вопросу сгущения суспензий железосодержащих взвесей сточных вод металлургического комбината «Запорожсталь» / А.М. Касимов, А.А. Атаманюк. – Днепропетровск : Укрметаллургинформ, 2012. – С. 95-97. – (Научно-производственный журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность» ; №5 (227)).

109. Изучение процесса сгущения сточных вод содержащих твердые взвеси : Збірник наукових статей VIII науково-практичної конф. [Екологічна безпека:

проблеми і шляхи вирішення], (м. Алушта, АР Крим, 10-14 вересня 2012 р.) / УкрНДІЕП. – Х. : Райдер, 2012. – 296 с.

110. Пат. 60135 Україна, МПК C02F 11/12. Спосіб зневоднення осадів / Атаманюк О.А., Сидоренко О.П., Назаренко М.П.; заявник і патентовласник Запорізька державна інженерна академія. – u 2010 14206; заявл. 10.06.2011; друк. 10.06.2011, Бюл. № 11.

111. Использование накопленных в шламонакопителе балки Капустяной отложений окислы и пути реализации этого проекта : Материалы XXXV научно-технической конференции молодежи, (Запорожье, 30-31 октября 2008 г.) / ОАО «Запорожсталь». – Запорожье : ОАО «Запорожсталь», 2008. – С. 68-69.

112. Гордон А. Спутник Химика. Физико-химические свойства, методики, библиография / А. Гордон, Р. Форд ; пер. с англ. В.Л. Розенберг, С.И. Коппель. – М. : «Мир», 1978. – 604 с.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 - Результаты расчета удельной электропроводности суспензии

Номер временного интервала	Сила тока, А	Расстояние между электродами, см	Поперечное сечение проводника, см <sup>2</sup>	Удельная электропроводность, Ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup> ·10 <sup>-4</sup>
1	2	3	4	5
1	0,099	41	12,56	16,16
2	0,078	41	12,56	12,73
3	0,066	33,5	12,56	8,8
4	0,054	33,5	12,56	7,2
5	0,045	33,5	12,56	6
6	0,024	33,5	12,56	3,2
7	0,054	33,5	12,56	7,2
8	0,072	33,5	12,56	9,6
9	0,078	33,5	12,56	10,4
10	0,075	33,5	12,56	10
11	0,066	30	12,56	7,88
12	0,06	30	12,56	7,17
13	0,063	30	12,56	7,52
14	0,066	30	12,56	7,88
15	0,069	30	12,56	8,24
16	0,084	30	12,56	10,03
17	0,114	30	12,56	13,61
18	0,126	25	12,56	12,54
19	0,144	25	12,56	14,33
20	0,12	25	12,56	11,94
21	0,105	20	12,56	8,36
22	0,156	20	12,56	12,42

## Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5
23	0,132	20	12,56	10,51
24	0,147	15	12,56	8,78
25	0,15	15	12,56	8,96
26	0,144	15	12,56	8,6
27	0,171	10,5	12,56	7,15
28	0,144	9,5	12,56	5,45
29	0,072	9,5	12,56	2,72
30	0,012	9,5	12,56	0,45
31	0,006	9,5	12,56	0,23

Таблица А.2 - Результаты расчета количества затраченной электроэнергии

Номер временного интервала	Сила тока, А	Количество электричества, Кл
1	0,099	29,7
2	0,078	23,4
3	0,066	19,8
4	0,054	16,2
5	0,045	13,5
6	0,024	7,2
7	0,054	16,2
8	0,072	21,6
9	0,078	23,4
10	0,075	22,5
11	0,066	19,8
12	0,06	18
13	0,063	18,9

Продолжение таблицы А.2

1	2	3
14	0,066	19,8
15	0,069	20,7
16	0,084	25,2
17	0,114	34,2
18	0,126	37,8
19	0,144	43,2
20	0,12	36
21	0,105	31,5
22	0,156	46,8
23	0,132	39,6
24	0,147	44,1
25	0,15	45
26	0,144	43,2
27	0,171	51,3
28	0,144	43,2
29	0,072	21,6
30	0,012	3,6
31	0,012	3,6
32	0,006	1,8
32	0,006	1,8
Итого:		844,2

Таблица А.3 - Результаты расчета коэффициента фильтрации

Номер временного интервала	Толщи- на слоя осадка, см	Перепад уровня жидкости, см	Высота общего слоя воды, см	Динамическая вязкость жидкости, сПз х 0,1	Коэффи- циент фильтра- ции, Н/см×10 <sup>-7</sup>
1	2	3	4	5	6
1	1,4	3,7	38,9	0,05683	2,522 E-05
2	1,4	1,8	35,1	0,05683	1,360 E-05
3	1,4	1,9	33,2	0,05782	1,544 E 05
4	1,4	1,9	31,3	0,05782	1,637 E-05
5	1,4	0,3	31	0,05883	2,656 E-06
6	1,4	0,8	30,2	0,06097	7,537 E-06
7	1,4	0,6	29,6	0,06097	5,767 E-06
8	1,4	0,5	29,1	0,06097	4,888 E-06
9	1,4	0,1	29	0,05988	9,636 E-07
10	1,4	1,3	27,7	0,05883	1,288 E-05
11	1,4	0,3	27,4	0,05883	3,005 E-06
12	1,4	0,3	27,1	0,05883	3,039 E-06
13	1,4	0,6	26,5	0,05883	6,216 E-06
14	1,4	0,3	26,2	0,05883	3,143 E-06
15	1,4	0,3	25,9	0,05883	3,18 E-06
16	1,4	0,2	25,7	0,05782	2,099 E-06
17	1,4	1,1	24,6	0,05683	1,185 E-05
18	1,4	0,8	23,8	0,05404	8,476 E-06
19	1,4	3	20,8	0,05315	3,577 E-05

Продолжение таблицы А.3

1	2	3	4	5	6
20	1,4	0,6	20,2	0,04985	6,909 E-06
21	1,4	2,9	17,3	0,04985	3,899 E-05
22	1,4	2,2	15,1	0,04985	3,389 E-05
23	1,4	2,9	12,2	0,04832	5,360 E-05
24	1,4	1,8	10,4	0,0468	3,78 E-05
25	1,4	2,5	7,9	0,04483	6,620 E-05
26	1,4	2,5	5,4	0,04355	9,408 E-05
27	1,4	0,7	4,7	0,04293	2,983 E-05
28	1,4	0,4	4,3	0,04233	1,837 E-05
29	1,4	0,6	3,7	0,04061	3,073 E-05
30	1,4	0,6	3,1	0,04293	3,877 E-05
31	1,4	0,4	2,7	0,04688	3,241 E-05
32	1,4	0,3	2,4	0,04832	2,818 E-05
33	1,4	0,3	2,1	0,05494	3,66 E-05

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 - Результаты расчетов  $\zeta$  – потенциала для шламов аглоцеха

Номер временного интервала	Динами- ческая вязкость, сПз	Сила тока, А	Удельная электро- проводность, $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	Объемная скорость, $\text{см}^3/\text{с}$	$\zeta$ – потен- циал, В
1	0,455	0,45	15,68	0,07065	0,1736
2	0,4174	0,51	16,15	0,04239	0,0868
3	0,4061	0,54	13,95	0,077715	0,1264
4	0,3655	0,51	11,64	0,040035	0,0517
5	0,4418	0,54	10,51	0,044745	0,0596
6	0,3655	0,66	7,71	0,10362	0,0686
7	0,361	0,57	5,35	0,08007	0,0420
8	0,3355	0,48	4,5	0,01413	0,0068

Таблица Б.2 - Результаты расчетов  $\zeta$  – потенциала для шламов газоочисток  
доменных печей

Номер временного интервала	Динамическая вязкость, сПз	Силато ка, А	Удельная электро- ропроводность, $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	Объемная скорость, $\text{см}^3/\text{с}$	$\zeta$ – потен- циал, В
1	2	3	4	5	6
1	0,6947	0,039	2,02	0,04691	0,2617
2	0,7085	0,039	2,00	0,02826	0,1592
3	0,7085	0,039	1,98	0,02826	0,1576
4	0,7225	0,0369	1,85	0,03768	0,2116
5	0,7679	0,042	2,01	0,02041	0,1163
6	0,7679	0,042	1,98	0,01884	0,1057
7	0,784	0,0363	1,67	0,01059	0,0592

## Продолжение таблицы Б.2

1	2	3	4	5	6
8	0,8007	0,042	1,64	0,00471	0,0228
9	0,7371	0,156	5,71	0,01413	0,0591
10	0,6947	0,156	5,66	0,01884	0,0736
11	0,6439	0,159	5,72	0,01884	0,0676
12	0,6321	0,162	5,83	0,02355	0,0830
13	0,6097	0,204	7,16	0,01413	0,0468
14	0,5988	0,15	5,26	0,01413	0,0460
15	0,5883	0,186	6,41	0,01884	0,0592
16	0,5883	0,15	5,08	0,01884	0,0582
17	0,6207	0,21	6,78	0,02355	0,0731
18	0,5988	0,198	6,24	0,02355	0,0689
19	0,5782	0,195	5,94	0,02826	0,0771
20	0,5686	0,192	5,61	0,02826	0,0728
21	0,5494	0,193	5,52	0,02355	0,0573
22	0,5315	0,177	4,44	0,005652	0,0116

Таблица Б.3 - Результаты расчетов  $\zeta$  – потенциала смеси шламов газоочисток доменных печей и аглоцеха

Номер временного интервала	Динамическая вязкость, сПз	Сила тока, А	Удельная элек- тропроводность, $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	Объемная скорость, $\text{см}^3/\text{с}$	$\zeta$ – потен- циал, В
1	0,5146	0,42	16,2	0,0541	0,1667
2	0,4985	0,51	19,04	0,0164	0,04757
3	0,4688	0,48	17,15	0,0211	0,0550
4	0,4688	0,48	15,2	0,0541	0,1246
5	0,4759	0,48	14,01	0,0329	0,0710
6	0,4759	0,315	8,3	0,0376	0,0732
7	0,5494	0,3	7,32	0,0259	0,0538
8	0,5683	0,3	7,17	0,0590	0,1243
9	0,5883	0,3	6,9	0,0188	0,0395
10	0,5883	0,225	4,82	0,0211	0,0414
11	0,6097	0,256	5,07	0,0211	0,0396



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 - Результаты расчета коэффициента фильтрации для шламов аглоцеха

Номер временного интервала	Толщина слоя осадка, см	Перепад уровня жидкости, см	Время определе ния, с	Высота общего слоя жидкости, см	Динами- ческая вязкость жидкости, сПз	Коэффи- циент фильтра- ции, $\text{H}/\text{см}\cdot 10^{-7}$
1	7,9	3,0	1200	23,4	0,4174	0,0003522
2	7,6	1,8	1200	21,6	0,4061	0,0002143
3	7,4	1,7	1200	18,3	0,3655	0,0002093
4	7,3	1,9	1200	16,6	0,4418	0,0003076
5	7,0	4,4	1200	14,7	0,3655	0,0006381
6	6,6	3,4	1200	10,3	0,3610	0,0006554
7	6,3	0,6	1200	6,9	0,3355	0,0001531
8	6,3	0,9	1200	6,3	0,3239	0,0002429

Таблица В.2 - Результаты расчета коэффициента фильтрации для шламов  
газоочисток доменных печей

Номер временного интервала	Толщина слоя осадка, см	Перепад уровня жидкости, см	Время опреде- ления, с	Высота общего слоя жидкости, см	Динами- ческая вязкость жидкости, сПз	Коэффи- циент филтра- ции, $H/cm \cdot 10^{-7}$
1	2	3	4	5	6	7
1	28,0	0,5	300	37,0	0,6947	0,0008761
2	26,5	0,3	300	36,5	0,7085	0,0005143
3	24,5	0,3	300	36,2	0,7085	0,0004795
4	22,5	0,4	300	35,9	0,7225	0,0006037
5	17,2	1,3	1800	35,5	0,7679	0,0002687
6	16,6	0,4	600	34,2	0,7679	0,0002484
7	15,2	0,9	2400	33,8	0,784	0,0001322
8	14,5	0,3	1800	32,9	0,8007	0,0000588
9	13,8	0,9	1800	32,6	0,7371	0,0001560
10	13,8	0,4	600	31,7	0,6947	0,0002016
11	13,8	0,4	600	31,3	0,6439	0,0001892
12	13,7	0,5	600	30,9	0,6321	0,0002335
13	13,7	0,3	600	30,6	0,6097	0,0001364
14	13,7	0,3	600	30,3	0,5988	0,0001353
15	13,7	0,4	600	30	0,5883	0,0001791
16	13,7	0,4	600	29,6	0,5883	0,0001815
17	13,5	1,0	1200	29,2	0,6207	0,0002391
18	13,5	0,5	600	28,2	0,5988	0,0002388
19	13,5	0,6	600	27,7	0,5782	0,0002817
20	13,5	0,6	600	27,1	0,5683	0,0002831
21	13,5	0,5	600	26,5	0,5494	0,0002332
22	13,5	0,6	3000	26	0,5315	0,0000551

Таблица В.3 - Результаты расчета коэффициента фильтрации для смеси шламов  
газоочисток доменных печей и аглоцеха

Номер временного интервала	Толщина слоя осадка, см	Высота понижения уровня жидкости, см	Время определе ния, с	Высота общего слоя жидкости, см	Динами- ческая вязкость жидкости, сПз	Кoeffи- циент филътра- ции, $H/cm \cdot 10^{-7}$
1	15,8	2,3	1200	23,9	0,5146	0,0006520
2	13,8	0,7	1200	23,2	0,4985	0,0001729
3	12,6	0,9	1200	22,3	0,4688	0,0001986
4	11,4	2,3	1200	20	0,4688	0,0005121
5	10,8	1,4	1200	18,6	0,4759	0,0003223
6	10,7	1,6	1200	17	0,4759	0,0003993
7	10,6	1,1	1200	15,9	0,5494	0,0003357
8	10,5	1,1	1200	14,8	0,5683	0,0003695
9	10,3	0,8	1200	14	0,5883	0,0002885
10	10	0,9	1200	13	0,5883	0,0003394
11	9,9	0,9	1200	12,2	0,6097	0,0003710
12	9,7	0,5	1200	11,7	0,5494	0,0001897
13	9,6	0,7	1200	11	0,455	0,0002316
14	9,5	0,8	1200	10,2	0,4688	0,0002910

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Патенты

УКРАЇНА

UKRAINE



## ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 61999

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА  
ФІЛЬТРАЦІЇ ОСАДІВ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **10.08.2011**.

Голова Державного департаменту  
інтелектуальної власності

М.В. Паладій





УКРАЇНА

(19) UA (11) 61999 (13) U  
 (51) МПК (2011.01)  
 C02F 11/00  
 C02F 11/12 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
 І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ

ОПИС  
 ДО ПАТЕНТУ  
 НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
 відповідальність  
 власника  
 патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ФІЛЬТРАЦІЇ ОСАДІВ

1

(21) u201100030  
 (22) 04.01.2011  
 (24) 10.08.2011  
 (46) 10.08.2011, Бюл.№ 15, 2011 р.  
 (72) АТАМАНЮК ОЛЕКСІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ, НА-  
 ЗАРЕНКО МИКОЛА ПРОКОПОВИЧ, ОМЕЛЬЧАК  
 АННА ГРИГОРОВНА  
 (73) ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКА-  
 ДЕМІЯ  
 (57) Пристрій для визначення коефіцієнта фільт-  
 рації осадів стічних вод, що містить скляний ци-

2

ліндр, закріплений на підставці з дренажною пе-  
 регородкою і шаром піску, піддон для збору  
 фільтрату з патрубком для відведення фільтрату,  
 розташованого в одній площині з дренажною пе-  
 регородкою, а також ємність для збору надлиш-  
 кового фільтрату і термометр, який відрізняєть-  
 ся тим, що він додатково містить графітові  
 електроди, що закріплені на поплавцях і підклю-  
 чені до джерела живлення постійного струму,  
 причому один електрод поміщений у скляний  
 циліндр, а другий - в піддон для збору фільтрату.

Корисна модель належить до дослідження  
 матеріалів і може бути використана при дослі-  
 дженні властивостей осадів, утворених зависли-  
 ми речовинами, що входять до складу виробни-  
 чих і комунальних стічних вод.

Найбільш близьким по сукупності ознак до  
 пристрою, що заявляється, є пристрій визначен-  
 ня коефіцієнта фільтрації піщаних ґрунтів, [Лом-  
 тадзе В.Д. Методы лабораторных исследований  
 физико-механических свойств песчаных и глини-  
 стых грунтов. - М.: Государственное издательст-  
 во геологической литературы, 1952. - 215с.] в  
 «трубці Каменського», що містить скляну трубку з  
 шкалою з поділками через 1см від 0 до 20, дре-  
 нажною перегородкою, штатива, спеціальної ме-  
 талевої підставки, ємності для збору фільтрату,  
 термометра для визначення температури води.  
 Коефіцієнт фільтрації визначають за швидкістю  
 проходження води через шар піску і розрахунок  
 коефіцієнта фільтрації за формулою:

$$K = \frac{l}{t} f \left( \frac{S}{h} \right),$$

де K - коефіцієнт фільтрації в см/с;

l - довжина шляху фільтрації, см;

t - час пониження рівня води в трубці від ді-  
 лення «0» до ділення «3» або «5», с;

S - пониження рівня води в трубці в см за час  
 t, с;

h - первинний тиск, см.

Недоліком відомого пристрою є те, що він  
 розроблений для вивчення коефіцієнта фільт-  
 рації пісків, які мають порівняно високу пористість і  
 водопроникність. Стічні води промислових під-  
 приємств і комунального господарства містять  
 завислі речовини різних фракцій з переважанням  
 мулистих часток з розмірами менше 0,005мм, які  
 утворюють осади з низькою водопроникністю.  
 Такі осади здатні утримувати в собі молекулярну  
 (плівкову або гіроскопічну) воду, тобто воду, яка  
 не заповнює порожнечі і пори, а що лише знахо-  
 диться на поверхні часток осаду у вигляді плівки  
 або бульбашок, що перешкоджає фільтрації.

В основу корисної моделі поставлена задача  
 розробки пристрою для визначення коефіцієнта  
 фільтрації, в якому за рахунок установки графіто-  
 вих електродів з джерелом живлення постійного  
 струму забезпечується розширення функціона-  
 льних можливостей пристрою, що дозволяє про-  
 водити дослідження осадів виробничих і комуна-  
 льних стічних вод.

Для вирішення поставленої задачі в пристрої  
 для визначення коефіцієнта фільтрації осадів  
 стічних вод, що містить скляний циліндр, закріп-

(19) UA (11) 61999 (13) U



лений на підставці з дренажною перегородкою і шаром піску, піддону для збору фільтрату з патрубком для відведення фільтрату, розташованим в одній площині з дренажною перегородкою, а також ємності для збору надлишкового фільтрату і термометр, згідно з корисною моделлю він додатково містить графітові електроди, що закріплені на поплавцях і підключені до джерела живлення постійного струму, причому один електрод поміщений в скляний циліндр, а другий – в піддон для збору фільтрату.

Пропонований пристрій містить скляний циліндр 1, закріплений на підставці 2 з дренажною перегородкою 3 з шаром піску 4, графітові електроди 5 закріплені на поплавцях і з'єднані з джерелом живлення постійного струму 6, амперметр 7, піддон для збору фільтрату 8 з патрубком для відведення фільтрату 9, розташований в одній площині з дренажною перегородкою, а також ємності для збору надлишкового фільтрату 10 і термометр 11, розміщений у скляному циліндрі 1.

Пристрій працює таким чином.

Скляний циліндр 1 встановлюють на підставку 2 з дренажною перегородкою 3. На дренажну перегородку 3 засипають шар дренажного завантаження 4 фракцією, що складається з річкового піску, 0,50-1,00мм. Підставку 2 поміщають в скляний піддон для збору фільтрату 8. Готують пробу стічних вод що містить  $300-400\text{г/дм}^3$  завислих речовин і пробу стічних вод того ж хімічного складу з концентрацією завислих речовин  $50-70\text{мг/дм}^3$ . Заповнюють піддон для збору фільтрату 8 водою з концентрацією завислих речовин  $50-70\text{мг/дм}^3$  до рівня патрубка для відведення фільтрату 9, по якому надлишковий фільтрат потрапляє в ємність для збору надлишкового фільтрату 10. Пробу стічних вод, що містять  $300-400\text{г/дм}^3$  завислих речовин, ретельно перемішують і заливають в скляний циліндр 1, потім приступають до розміщення електродів. Електроди 5, виконані з хімічно нейтрального матеріалу - графіту, закріплюють на поплавцях і розміщують на поверхні рідини в циліндрі 1 і на поверхні фільтрату 12 в піддоні для збору фільтрату 8. Після чого здійснюють підключення електродів до джерела живлення постійного струму 6.

При накладенні різниці потенціалів на досліджуваний зразок стічних вод відбувається його інтенсивне розшарування з утворенням шару осаду 14 на поверхні дренажного шару з піску 4, і шару освітленої рідини 13. У потоці електричного

поля відбувається зменшення сил молекулярної взаємодії часток і вода починає витікати з шару осаду 14, йде процес фільтрації. Надлишковий фільтрат 12, через патрубок для відведення фільтрату 9 переливається в ємність для збору фільтрату 10. Горизонтальна вісь патрубка для відведення фільтрату 9 збігається з площиною створеною поверхнею дренажної перегородки 3. Відповідно в цій площині підтримується автоматично рівень фільтрату 12, що дозволяє забезпечити безперервність постійного електричного струму і відповідно рівномірність процесу фільтрації. Ця площина є межею переходу рідини 13 з осаду 14 через дренажний шар з піску 4 в піддон для збору фільтрату 8, при цьому використовується максимально градієнт гідравлічного тиску стовпа просвітленої рідини 13 над шаром осаду 14.

При накладенні різниці потенціалів на поверхню шару осаду відбувається зменшення відносної в'язкості води, що пояснюється збільшенням відносної рухливості молекул води, які складають першу оболонку гідрату, з'являються зони з більш вільними і, отже, більш рухливими іонами води, внаслідок чого відбувається зменшення сил міжмолекулярної взаємодії часток і вода починає витікати із шару осаду, йде процес фільтрації.

Засікають секундоміром час пониження рівня просвітленої рідини 13 в скляному циліндрі 1 за мірною шкалою, нанесеною на стінку циліндра з поділками 1мм. Заміряють температуру води термометром 11. Дослідження проводять до тих пір, поки вся просвітлена рідина 13 не профільтрується через шар осаду 14. На підставі отриманих даних обчислюють коефіцієнт фільтрації за формулою.

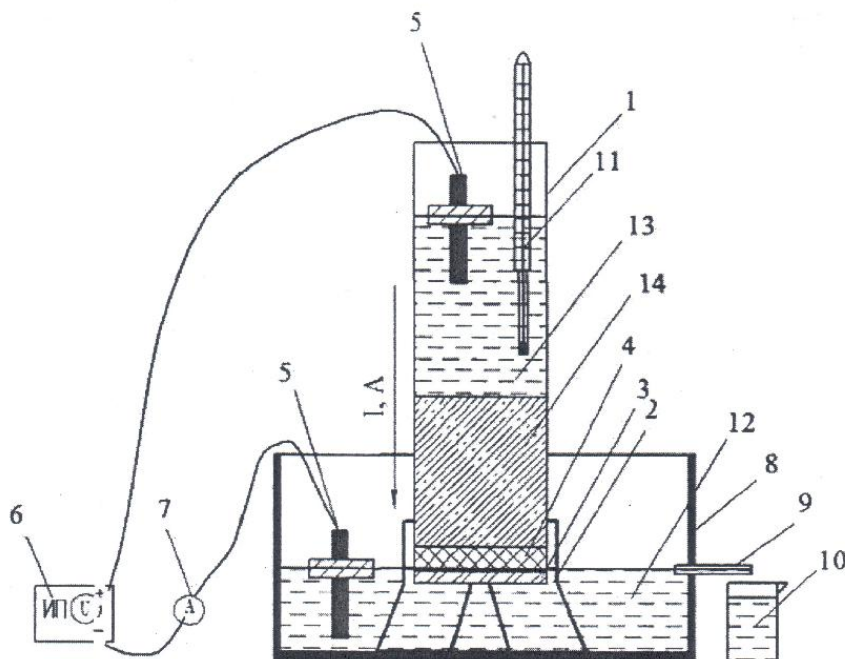
За показниками амперметра 7 отримують дані для розрахунку кількості витраченої електрики і розрахунку електропровідності осаду залежно від властивостей шару осаду 14.

Заявлений пристрій забезпечує визначення коефіцієнта фільтрації різних осадів, утворених зваженими речовинами, що входять до складу виробничих і комунальних стічних вод з різними діапазонами напруги постійного струму. За швидкістю переміщення рівня освітленої рідини визначаються оптимальні умови для здобуття максимального коефіцієнта фільтрації і розрахунків питомої витрати електрики в промислових умовах.

5

61999

6



Комп'ютерна верстка Н. Лисенко

Підписне

Тираж 23 прим.

Міністерство освіти і науки України

Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601





УКРАЇНА

(11) 52419 A

(19) (UA)

(51) 7 C02F1/52

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І  
НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## Деклараційний патент на винахід

видає відповідно до Закону України  
"Про охорону прав на винаходи і корисні моделі"

Голова Державного Департаменту  
інтелектуальної власності

М. Паладій



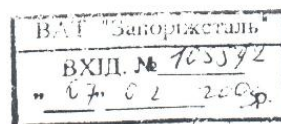
(21) 2002053872  
(22) 11.05.2002  
(24) 16.12.2002  
(46) 16.12.2002. Бюл. № 12

(72) Сидоренко Олексій Петрович, Ликов Олександр Абрамович, Атаманюк Олексій  
Анатольович, Коваленко Володимир Юхимович  
(73) ВІДКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "ЗАПОРІЗЬКИЙ МЕТАЛУРГІЙНИЙ  
КОМБІНАТ " ЗАПОРІЖСТАЛЬ"

(54) СПОСІБ ПРОСВІТЛЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА

*Ага могому С.А.  
ВМ на наступні роки  
20.03.03.*

УІІІ



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 52419

(13) A

(51) B C02F1/52

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ ПРОСВІТЛЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА

1

- (21) 2002053872  
 (22) 11.05.2002  
 (24) 16.12.2002  
 (46) 16.12.2002, Бюл. № 12, 2002 р.  
 (72) Сидоренко Олексій Петрович, Ликов Олександр Абрамович, Атаманюк Олексій Анатольович, Коваленко Володимир Юхимович  
 (73) ВІДКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "ЗАПОРІЗЬКИЙ МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ " ЗАПОРІЗСТАЛЬ"  
 (57) Спосіб просвітлення стічних вод прокатного виробництва, що включає уловлювання крупнодисперсної окалини в первинному відстійнику і зневоднювання в бункері, подачу води з залишковим вмістом окалини на вторинне просвітлення у вторинних відстійниках і зневоднювання дрібнодисперсної замащеної окалини, який відрізняється тим, що відношення кількості уловленої окалини в первинному відстійнику до кількості уловленої замащеної окалини у вторинних горизонтальних відстійниках становить (2,5-3,0) : 1, при цьому просвітлення води в первинному відстійнику здійснюють після перебування води, що очищається, протягом 4-5 хвилин.

2

сперсної окалини в первинному відстійнику і зневоднювання в бункері, подачу води з залишковим вмістом окалини на вторинне просвітлення у вторинних відстійниках і зневоднювання дрібнодисперсної замащеної окалини, який відрізняється тим, що відношення кількості уловленої окалини в первинному відстійнику до кількості уловленої замащеної окалини у вторинних горизонтальних відстійниках становить (2,5-3,0) : 1, при цьому просвітлення води в первинному відстійнику здійснюють після перебування води, що очищається, протягом 4-5 хвилин.

Пропоноване технічне рішення відноситься до переробки осадків стічних вод від прокатних станів підприємств чорної металургії, може бути використане в інших галузях промисловості.

Від здатності до зневоднювання суспензій зі стічних вод залежить можливість менш витратної їхньої утилізації.

Різкий розподіл завислих часток при освітленні стічних вод на дрібні і крупні фракції приводить до ускладнення зневоднювання дрібнодисперсних шламів.

Максимально можливий вміст олії в окалині, виходячи з умов повного переходу в окалину всієї олії і змачень, що витрачаються в прокатних цехах, складає 4 - 7%.

Виходячи з досвіду вітчизняного виробництва і досвіду виробництва високорозвинених країн, вміст олії в окалині після вторинного освітлення води до 25 - 30%, указує на різкий поділ окалини при первинному відстої вод на крупну і дрібну окалину. Дрібна окалина сорбує воду й основну кількість олії.

Окалиновмістку воду прокатного виробництва освітляють, як правило, у первинних відстійниках (ямах для окалини) розташованих безпосередньо у прокатних станів. Вторинне освітлення води здійснюють у радіальних відстійниках, згущувачах, горизонтальних відстійниках.

Зневоднювання окалини виконують гравітаційним способом у буртах, бункерах; механічним способом при фільтрації на вакуум-фільтрах,

фільтр-пресах, центрифугах; термічним способом в обертових і інших печах; змішують з вапном чи колошниковим пилом.

Дрібнодисперсна окалина з великим вмістом олії і затисненою водою незадовільно зневоднюється.

Найбільш близьким до пропонованого способу є вказівки і норми технологічного проектування Т. 14

ВНТП1-37-80, по яких первинний МЧМСРСР (див. додаток), в якій первинний відстійник повинний бути запроєктований із двох секцій з можливістю відключення кожної секції з роботи для очищення від осадів. Розрахунковий час перебування води в кожній секції повинен бути не менш 10 хвилин, при відключенні однієї секції час перебування знижується до 5 хвилин.

Вторинне очищення рекомендується робити в радіальних відстійниках діаметром 30м з камерою флокуляції. Як коагулянти рекомендується використовувати хлорне залізо в комплексі з поліакриламідом (ПАА), сірчаноокислий алюміній у комплексі з ПАА, вапняне молоко. Шлам після очищення в радіальних відстійниках зневоднювати в спеціальних секціях горизонтального відстійника, а потім у бункерах зневоднювання.

Загальними істотними ознаками відомого і заявленого способу є уловлювання крупнодисперсної окалини в первинному відстійнику і зневоднювання в бункері, подача води з залишковим вмістом окалини на вторинне освітлення і зневод-

(13) A

(11) 52419

(19) UA



3

нювання дрібнодисперсної замавленої окалини.

Недоліком зазначеного способу є різкий поділ окалини в первинних відстійниках на крупну і дрібну окалину, через тривалий відстій.

В уловленої, після первинних відстійників, окалині в кількості 80 - 90% і 70 - 80% від загальної кількості окалини міститься 0,05 - 0,7% олії при загальному вмісті олії в окалині 4 - 7%.

Такий поділ окалини по кількості і крупності часток приводить до того, що в окалині після вторинного очищення, що містить всього 20 - 10% від загальної кількості окалини, зосереджується дрібнодисперсна важкофільтруюча окалина з основною кількістю олії. Дрібнодисперсні частки, які знаходяться в воді, незадовільно ущільнюються і зневоднюються, здатні сорбувати на себе з води олію.

Застосовані при вторинному очищенні коагулянти, крім поліпшення очищення води від дрібнодисперсних зважених речовин, забруднюють оброблювану воду хімічними сполуками, від нагромадження яких необхідно очищати оброблювану воду чи частину забрудненої води "продувати" у навколишнє середовище.

Перебування води в первинних відстійниках не менш 10 хвилин вимагає значних площ у безпосередній близькості від стану усередині цеху, що викликає додаткові складності.

Не зневоднена до сипучого стану з високим вмістом олії дрібнодисперсна окалина є основною перешкодою до її утилізації.

В основу винаходу поставлена задача удосконалення способу освітлення стічних вод прокатного виробництва шляхом зміни послідовності і параметрів технологічного процесу, що забезпечує

52419

4

що забезпечує усереднення структури окалини у вторинних відстійниках, і за рахунок цього досягається одержання сипучої окалини.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі освітлення стічних вод прокатного виробництва, що включає уловлювання крупнодисперсної окалини в первинному відстійнику і зневоднювання в бункері, подачу води з залишковим вмістом окалини на вторинне освітлення у вторинні відстійники і зневоднювання дрібнодисперсної замавленої окалини, передбачені наступні відмінності: співвідношення кількості уловленої окалини в первинному відстійнику до кількості уловленої маслосмної окалини у вторинних горизонтальних відстійниках, як (2,5 - 3,0) : 1, при цьому освітлення води в первинному відстійнику здійснюють згодом перебування води, що очищається, 4 - 5 хвилин.

Між сукупністю істотних ознак винаходу і технічним результатом існує наступний причинно-наслідковий зв'язок. Співвідношення уловленої окалини в первинних і вторинних відстійниках, як (2,5 - 3,0) : 1 дозволяє одержати в окалині після вторинних відстійників окалину середніх розмірів фракцій і дрібнодисперсну замавлену окалину. Застосування при вторинному освітленні стоків горизонтальних відстійників дає можливість усередняти окалину по фракціях і вмісту олії при вивантаженні за допомогою грейферного крана. Під час вивантаження з горизонтального відстійника грейфер порушує структуру намиті гелеподібної маси, чим вивільняє затиснену в масі воду.

Співвідношення уловленої окалини в первинному і вторинному горизонтальному відстійниках як (2,5 - 3) : 1 досягнуто дослідним шляхом у виробничих умовах.

Таблица

Залежності якості окалини з вторинних горизонтальних відстійників від співвідношення кількості уловленої окалини у первинному і вторинних горизонтальних відстійниках.

Співвідношення кількості окалини уловленої в первин. відстійнику до кількості окалини, уловленої у втор.гориз. відстійнику	Час первинного відстою	Якість окалини після вторинних горизонтальних відстійників
10 : 1	Не менш 10 хвилин	Окалина в текучому стані з вмістом олії 18 - 25%, гравітаційно не зневоднюється
8 : 1	8 хвилин	Окалина в гелеподібному і текучому стані, гравітаційно не зневоднюється
4 : 1	6 хвилин	Окалина в кускоподібному стані, злипається від олії. Не придатна для утилізації
3 : 1	5 хвилин	Окалина після усереднення і зневоднювання протягом 15 діб в бункері, розсипчаста з вмістом олії в окалині до 5%. Придатна для утилізації
2,5 : 1	4 хвилини	Окалина після усереднення і зневоднювання протягом 10 діб в бункері, розсипчаста з вмістом олії в окалині до 4%. Придатна для утилізації
2 : 1	3 хвилини	Окалина зайво крупних розмірів часток, підвищена затратність процесу.

Перебування води, що очищається, у первинному відстійнику 4 -5хв. забезпечує уловлювання усієї крупної окалини і частини окалини середніх розмірів. Швидкість випадання (гідралічна крупність) дрібнодисперсних часток окалини і частини

окалини середніх розмірів по фракціях більш близьким до дрібнодисперсних часток не дозволяє устигати відстоятися цим часткам у первинному відстійнику і вони виносяться на вторинне освітлення. Оптимальний час перебування води, що



5

очищається, у первинному відстійнику визначено експериментально. Нормативна якість освітленої у вторинних горизонтальних відстійниках води по вмісту завислих речовин і олії досягають без застосування реагентної обробки води.

Заявлений спосіб здійснюють наступним образом:

Забруднену окалиною й олією воду з-під стану самопливом направляють у розташовані в районі стану первинні відстійники (ями для окалини) для первинного очищення, згодом перебування води в первинному відстійнику 3 - 4 хвилини.

Осаджену в первинних відстійниках окалину крупних і середніх розмірів, при співвідношенні (2,5 - 3) : 1, грейферним мостовим краном вивантажують у розташований поруч бункер для зневоднювання. Вода з бункера самопливом дренує в первинний відстійник.

З бункера окалину вивантажують у залізничні вагони і транспортують до шихтопідготовчих установок металургійних агрегатів.

Воду після первинного очищення з вмістом частини окалини середніх розмірів і замасленої окалини дрібних розмірів часток, направляють на горизонтальні відстійники вторинного очищення.

Окалина середніх розмірів осаджується в заглибленій частині секції вторинного відстійника.

У положистій частині горизонтального відстійника осаджується дрібна окалина в гелеподібному стані.

При почерговому вивантаженні в бункер сипучої окалини з заглибленої частини секції і гелеподібної окалини з положистої частини за допомогою грейфера порушують структуру гелеподібної маси і вивільняють затиснену в гелеподібній масі воду.

Вилловлена окалина у вторинних горизонтальних відстійниках зневоднюється до сипучесті в розташованих уздовж відстійників бункерах протягом 10 - 15 діб при вмісті олії в окаліні 4 - 5%.

Дренаж від бункерів направляють у лоток освітленої води.

Розташованим над горизонтальними відстійниками і бункерами козловим грейферним краном сипучу масловмістку окалину вивантажують і транспортують до шихтопідготовчих установок.

Приклад: Можливість здійснення способу освітлення стічних вод прокатного виробництва підтверджується роботою оборотного циклу окалиновмістких вод безупинного тонколистового стану (НТЛС) 1680ОАО "Запоріжсталь".

Освітлену воду в кількості 6500 - 7200 куб. м/ч подають на чорнові і чистові кліті стану, ламінарне охолодження штаби й охолодження моталок. Від чотирьох чорнових клітей вода самопливом зливається в первинний відстійник (яму для окалини) чорнових клітей. Для забезпечення співвідношення кількості окалини в первинних відстійниках до кількості окалини у вторинних відстійниках як (2,5 - 3) : 1, розмір відстійної частини ями для окалини передбачають з урахуванням часу відстоювання 4 - 5 хвилин.

Вода після первинного відстійника з вмістом олії, дрібнодисперсної і середніх розмірів окалини самопливом переливається у прийомну камеру шламової насосної чорнових клітей. Шламовими насосами воду направляють у два магістральні

52419

6

шламопровода, що йдуть на вторинні горизонтальні відстійники оборотного циклу окалиновмістких вод.

Від шести чистових клітей окалиномасловмістка вода зливається в лоток під станом і далі самопливом у первинний відстійник чистових клітей. Співвідношення кількості уловленої окалини в первинному і вторинних відстійниках підтримується так само, як і від чорнових клітей.

Після первинного відстійника чистових клітей вода з залишковим вмістом окалини й олії самопливом зливається в прийомну камеру шламової насосної чистових клітей.

Шламовими насосами воду направляють у два магістральні шламопровода, що йдуть на вторинні горизонтальні відстійники оборотного циклу окалиновмістких вод.

Гаряча штаба, що рухається після стану по рольгангу, охолоджується ламінарними струменями води. Вода зливається в лоток і самопливом направляється в прийомну камеру шламової насосної ламінарного охолодження. Вода містить незначну кількість дрібнодисперсної окалини й олії. Шламовими насосами насосної ламінарного охолодження воду направляють у два магістральні шламопровода, що йдуть на вторинні горизонтальні відстійники.

На моталках гаряча штаба змотується в рулони і по рольгангу рулони направляються на склад готової продукції і частково на холодну прокатку. Моталки охолоджуються водою, що з незначним вмістом окалини й олії відкачується в прийомну камеру насосної ламінарного охолодження штаби. З ям для окалини чистових і чорнових клітей окалину за графіком грейферним краном вивантажують у розташовані поруч бункери для крупнодисперсної утримуючої незначну кількість олії окалини.

Вода з бункера дренує в яму для окалини. В міру заповнення бункера, окалину грейферним мостовим краном вивантажують у залізничні вагони і відправляють до шихтопідготовчих установок.

З магістральних шламопроводів вода з вмістом частини окалини середніх розмірів і замасленої окалини дрібних розмірів часток зливається в розподільні лотки на 64-х секційні горизонтальні відстійники.

Окалина середніх розмірів осаджується в заглибленій частині секції горизонтального відстійника.

У положистій частині горизонтального відстійника осаджується дрібна окалина в гелеподібному стані.

Після наповнення секції відстійника окалиною до встановленого рівня забезпечуючого нормативне освітлення води, секцію відключають на очищення.

Розташованим над відстійниками і бункерами козловим грейферним краном роблять очищення секцій і при почерговому вивантаженні в бункер сипучої окалини з заглибленої частини секції і гелеподібної окалини з положистої частини. За допомогою грейфера порушують структуру гелеподібної маси і вивільняють затиснену в гелеподібній масі воду.

У розташованих на нульовій позначці уздовж

7

горизонтальних відстійників бункерах протягом 10 - 15 діб окалина зневоднюється до сипкості при вмісті олії в окаліні 4 - 5%.

Дренаж від бункерів направляють у лоток освітленої води.

Козловим рейферним краном сипучу масловмістку окалину вивантажують і транспортують до шихтопідготовчих установок. У 2000 році від первинних відстійників відвантажено на рудний двір 7,86 тис.тонн, у мартенівський цех 20,7 тис.тонн.

52419

8

Від вторинних горизонтальних відстійників відвантажено на рудний двір у 2000р. 11,1 тис.тонн сипучої маслосмної окалини, що використовували для виготовлення шихти.

Наступним образом досягається технічний результат (усереднення окалини по фракціях, розосередження олії в окаліні), при якому значно скорочується і спрощується процес утилізації окалини від вторинних горизонтальних відстійників.

---

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сім'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456 – 20 – 90

---

ТОВ "Міжнародний науковий комітет"

вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна

(044) 216 – 32 – 71

УКРАЇНА

UKRAINE



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 60135

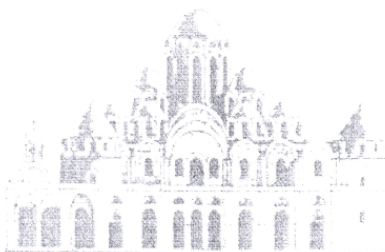
СПОСІБ ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДІВ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.06.2011.

Голова Державного департаменту  
інтелектуальної власності

М.В. Паладій







УКРАЇНА

(19) UA (11) 60135 (13) U

(51) МПК  
C02F 11/12 (2006.01)МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) СПОСІБ ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДІВ

1

(21) u201014206

(22) 29.11.2010

(24) 10.06.2011

(46) 10.06.2011, Бюл. № 11, 2011 р.

(72) АТАМАНЮК ОЛЕКСІЙ АНАТОЛЬЄВИЧ, СИ-  
ДОРЕНКО ОЛЕКСІЙ ПЕТРОВИЧ, НАЗАРЕНКО  
МИКОЛА ПРОКОПОВИЧ

2

(73) ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКА-  
ДЕМІЯ(57) Спосіб зневоднення осадів, що включає оса-  
дження завислих речовин, відведення дренажних  
вод, який відрізняється тим, що осади обробля-  
ють постійним електричним струмом до необхідного  
ступеня зневоднення.

Корисна модель відноситься до згущення, осадження і зневоднення осадів і може бути використана в металургійній промисловості (залізвмісні шлами), будівництві (диспергування глини) і комунальному господарстві (зневоднення активного мулу біохімічистки).

Збагачення за допомогою води помалу залізрудної сировини передбачається виконувати на оборотних системах з використанням для освітлення води хвостовищ, в яких час перебування стічних вод не менше 10-15 днів, що приводить до значного розшарування осаду і вологості його до 70 % [Указания и нормы технологического проектирования и технико-экономические показатели энергетического хозяйства предприятий черной металлургии. Металлургические заводы. Том 14. Очистные сооружения и защита водоемов ВНТП 1-37-80 / М4Н СССР, 1981, с. 11-17]. Така вологість осаду потребує значних термінів зневоднення, великих площ і об'ємів хвостовищ з негативним впливом на навколишнє природне середовище.

Нормативно згущення залізвмісних шламів проводиться в згущувачах, а зневоднення - на вакуум-фільтрах і фільтр-пресах [Указания и нормы технологического проектирования и технико-экономические показатели энергетического хозяйства предприятий черной металлургии. Металлургические заводы. Том 12. Водное хозяйство, 1973, с. 155-160].

Відомий рух вологи в бік падіння електричного потенціалу (електроосмос) використовується для осушення глинистих порід [Н.Я. Денисов. Инженерная геология и гидрогеология. Госстройиздат, М., 1957, с. 183].

Найбільш близьким за сукупністю ознак є спосіб згущення і зневоднення осадів [А.П. Сидоренко, П. Назаренко, Т.А. Яковлева, А.О. Прокопчук. А.с. СССР № C02F11/02 1733408, МПК

7C02F11/12]. Спосіб гравітаційного осадження твердих часток осадів, їх фільтрація і зневоднення, забезпечує якісні характеристики і ступінь зневоднення, наприклад, залізвмісних металургійних шламів. Значна тривалість цих процесів (10-15 діб) не дозволяє забезпечити безупинного технологічного процесу утилізації шламів (2-3 години).

В основу корисної моделі поставлено завдання розробки способу зневоднення осадів, в якому за рахунок їх обробки постійним електричним струмом забезпечується підвищення ступеня зневоднення і значне його скорочення.

Для вирішення поставленого завдання в собі зневоднення осадів, що включає осадження завислих речовин, відведення дренажних вод, згідно з корисною моделлю, осади обробляють постійним електричним струмом до необхідного ступеня зневоднення.

Спосіб працює в наступній послідовності. Горизонтальний відстійник заповнюють водою з дрібнодисперсним осадом і починається процес осадження завислих речовин з відводом дренажних вод. По мірі заповнення відстійника під'єднується пристрій обробки осадів постійним струмом електрики напругою 200В.

Плаваючі графітові аноди і графітові стаціонарні катоди установлені в дренажних лотках.

При пропусканні постійного електричного струму іде електроліз залишків води в осаді з дегідратацією іонів, що значно прискорює зневоднення, зменшення кількості вологи до 42 %, а далі відбувається ущільнення осаду з використанням електрофорезу, а зменшення шпар капілярів додатково дозволяє використати електрокінетичні явища, подібні до напівпроникних мембран, з створенням подвійного електричного шару, який приводить до потенціалу течії з швидким зневодненням осаду до 5 %.

(19) UA (11) 60135 (13) U

3

60135

4

Після заповнення осадочної камери твердим осадом вологістю в 25 %, подачу пульпи переключають в незаповнений горизонтальний відстійник, від'єднують плаваючі графітові аноди в безпечне для роботи грейферного крану місце, випускають з відстійника воду, грейферним краном вивантажують в вагони з осадочної частини відстійника тверді осадки і відправляють їх на використання.

Спосіб було випробувано на оборотному циклі водопостачання газоочисток доменних печей. З радіального згущувача залізовмісна пульпа об'ємом 21 м<sup>3</sup>/год з вмістом твердого 400 кг/м<sup>3</sup> і роз-

міром завислих речовин 10-100 мкм подавалась в горизонтальний відстійник. По мірі заповнення горизонтального відстійника шламовою водою почався відстій завислих речовин з відводом дренажних вод протягом однієї години. Потім включався пристрій обробки шламів постійним струмом електрики напругою 200В протягом 90 хвилин. Ступінь зневоднення шламів досягав 25 % вологи, що було достатньо для застосування при виробництві агломерату. Термін зневоднення 2,5-3,0 години влаштував виробництво.



УКРАЇНА

UKRAINE



## ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 62010

УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДІВ СТИЧНИХ  
ПРОМИСЛОВИХ ТА КОМУНАЛЬНИХ ВОД

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи  
і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні  
моделі 10.08.2011.

Голова Державного департаменту  
інтелектуальної власності

М.В. Паладій





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **62010** (13) **U**  
 (51) МПК (2011.01)  
 C02F 11/00  
 C02F 11/12 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
 І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ

**ОПИС**  
**ДО ПАТЕНТУ**  
**НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

видається під  
 відповідальність  
 власника  
 патенту

(54) УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДІВ СТИЧНИХ ПРОМИСЛОВИХ ТА КОМУНАЛЬНИХ ВОД

1

(21) u201100155  
 (22) 04.01.2011  
 (24) 10.08.2011  
 (46) 10.08.2011, Бюл.№ 15, 2011 р.  
 (72) АТАМАНЮК ОЛЕКСІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ, СИ-  
 ДОРЕНКО ОЛЕКСІЙ ПЕТРОВИЧ, НАЗАРЕНКО  
 МИКОЛА ПРОКОПОВИЧ  
 (73) ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКА-  
 ДЕМІЯ  
 (57) Устаткування для зневоднення осадів стічних  
 промислових та комунальних вод, що містить го-

2

ризонтальний відстійник з лотками для підводу  
 стічних вод і відводу просвітленої води, осадочну  
 камеру, дренажні лотки, козловий рейферний  
 кран, яке відрізняється тим, що дно відстійника  
 виконане як жолоби, заповнені висівками коксу і  
 з'єднані з дренажними лотками, і додатково міс-  
 тить графітові електроди, що з'єднані з джерелом  
 живлення постійного струму, катоди розташовані у  
 дренажних лотках, аноди - на поверхні стічних вод  
 в осадочній камері.

Корисна модель відноситься до зневоднення  
 осадів що входять до складу стічних вод проми-  
 слових та комунальних підприємств, зокрема для  
 обробки шламів і може бути використана в різних  
 галузях промисловості.

Найближчим аналогом є устаткування для  
 зневоднення шламів металургійного виробництва  
 [SU №8 1733408 A1 C02F11/12 Бюл. 18 от  
 15.05.92], яке містить систему зблокованих по трое  
 в плані і послідовно розташованих залізобетонних  
 бункерів з дренажними лотками по периметру дна  
 і в стінках бункера, заповнених фільтруючим ма-  
 теріалом (кокс, щебінь). Система працює шляхом  
 суміщення режимів відстоювання і зневоднення  
 осадів за рахунок значної тривалості цих процесів.

Недоліками відомого устаткування є вузький  
 діапазон призначення - тільки для шламових оса-  
 дів металургійного виробництва. Видаляється  
 тільки капілярна волога із всього об'єму осаду, тим  
 часом як великий відсоток вологи від 30 до 80%, в  
 залежності від характеристик осаду, приходиться  
 на молекулярну вологу, вологу котра не заповнює  
 пори осаду, а знаходиться у вигляді плівки і  
 бульбашок на поверхні частинок осаду і не  
 може бути видалена гравітаційним способом.

В основу корисної моделі поставлене завдан-  
 ня розробки устаткування, в якому, за рахунок но-  
 вої конструкції дна відстійника і установки графіто-  
 вих електродів, з'єднаних з джерелом живлення  
 постійного струму забезпечується підвищення

ефективності зневоднення осадів до відповідного  
 ступеню.

Для вирішення поставленого завдання в уста-  
 ткуванні для зневоднення осадів стічних та кому-  
 нальних промислових вод, що містить горизонталь-  
 ний відстійник з лотками для підводу стічних вод  
 і відводу просвітленої води, осадочну камеру,  
 дренажну систему, козловий рейферний кран,  
 згідно з корисною моделлю дно відстійника вико-  
 нане як жолоби що заповнені висівками коксу, і  
 з'єднані з дренажними лотками і додатково містить  
 графітові електроди, що з'єднані з джерелом жив-  
 лення постійного струму, катоди розташовані у  
 дренажних лотках, аноди - на поверхні стічних вод  
 в осадочній камері.

Устаткування (Fig.) містить горизонтальний  
 відстійник 1, лоток 2 для підводу стічних вод для  
 очищення, лоток 3 для видалення просвітленої  
 води і осадочну камеру 4 для збору осаду, під  
 якою розташована дренажна система 5. Дно від-  
 стійника 1 виповнене у вигляді жолобів 6 заповне-  
 них висівками коксу, по периметру відстійника роз-  
 ташовані дренажні лотки 7, в яких розміщені  
 графітові електроди - катоди 8, на поверхні стічних  
 вод в осадочній камері розташовані графітові -  
 аноди 9, які підключено до джерела постійного  
 струму електрики 10. Дренажні води збираються  
 до резервуару з насосом 11, зневоднений осад  
 видаляється козовим рейферним краном 12.

Устаткування працює наступним чином.

(19) **UA** (11) **62010** (13) **U**



3

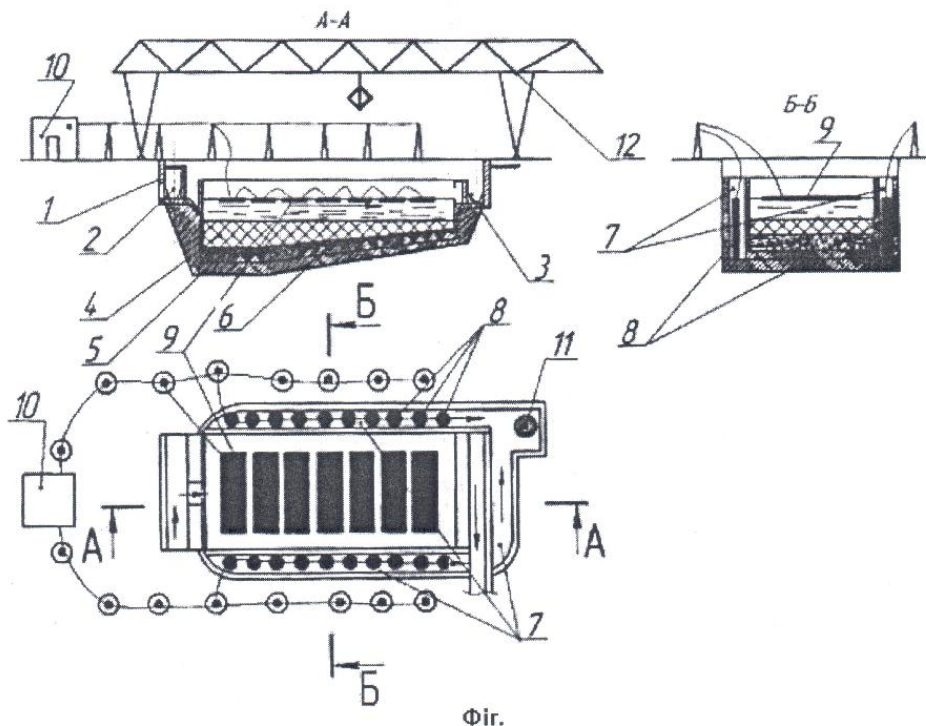
62010

4

Горизонтальний відстійник 1 по лоткам 2 для підводу стічних вод безперервно заповнюється шламовою водою, починається процес осадження завислих речовин в осадочній камері 4 з відводом просвітленої води по лоткам 3 і відводом дренажних вод через дренажну систему 5, до резервуару відводу дренажних вод з насосом 11. Дренажна система вміщає дно відстійника, що виповнене як жолоби 6, заповнені висівками коксу, дренажні лотки 7. Від джерела постійного струму електрики 10, на графітові електроди - катоди 8, і графітові електроди - аноди 9, подається струм з напругою до 200 В. Завдяки цьому йде процес електролізу, що призводить до прискорення видалення твердої фази із шламової води, а також інтенсифікація ущільнення отриманого осаду. Після заповнення осадочної камери 4 шаром осаду, подачу стічних вод до горизонтального відстійника 1 зупиняють. Накопичений шар осаду продовжують обробляти постійним струмом електрики, іде елект-

роліз залишку води в твердому осаді з дегідратацією іонів, що значно прискорює зневоднення, зменшення кількості вологи, зменшення шару капілярів в об'ємі осаду між частками шламу. Після досягнення потрібного ступеню вологості осадок із осадочної камери 4 козловим грейферним краном 12 вивантажують і відправляють на вторинну переробку. Очищений від осаду горизонтальний відстійник знову починають заповнювати стічними водами і процес обробки осаду поновлюється.

Заявлене устаткування забезпечує зневоднення осадів, що входять до складу стічних вод промислових та комунальних підприємств. З використанням заявленого устаткування може бути досягнуто ступеню зневоднення осаду стічних вод вологих газоочисток доменного виробництва від 18 до 20%, активного мулу після обробки стічних вод комунального господарства від 40 до 45%.



Фиг.

Комп'ютерна верстка Н. Лисенко

Підписне

Тираж 23 прим.

Міністерство освіти і науки України

Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01601



УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 68265

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОКІНЕТИЧНИХ  
ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАВИСЛИХ ЧАСТОК

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **26.03.2012.**

Голова Державної служби  
інтелектуальної власності України

М.В. Паладій







УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **68265** (13) **U**  
 (51) МПК (2012.01)  
**G01N 27/00**  
**G01N 27/26** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
 ВЛАСНОСТІ  
 УКРАЇНИ

### (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2011 08761</b>	(72) Винахідник(и): <b>Атаманюк Олексій Анатолійович (UA), Назаренко Микола Прокопович (UA), Зімненко Катерина Володимирівна (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>12.07.2011</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>26.03.2012</b>	(73) Власник(и): <b>ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ, пр. Леніна, 226, м. Запоріжжя, 69006 (UA)</b>
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>26.03.2012, Бюл.№ 6</b>	

### (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОКІНЕТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАВИСЛИХ ЧАСТОК

(57) Реферат:

Пристрій для дослідження електрокінетичних властивостей завислих часток включає термостат, джерело живлення, електроди. У термостаті поміщений циліндр з прозорого діелектрика з мірною шкалою, по вертикальній осі якого встановлені верхній і нижній графітові електроди.

UA 68265 U

Корисна модель належить до колоїдної хімії і може бути застосована для дослідження електрокінетичних властивостей дрібнодисперсних завислих часток, що входять до складу виробничих і комунальних стічних вод.

5 Явища відносного руху фаз уздовж поверхні розділу, обумовлені зовнішнім електричним полем або приводять до виникнення електричного поля, називають електрокінетичними явищами.

Вивчення цих явищ має велике і різностороннє значення для теорії процесів, що відбуваються у поверхневих шарах (зокрема, при зневодненні матеріалів), і широко використовується при вирішенні різних практичних проблем.

10 При проведенні експериментів визначають швидкість переміщення кордону розшарування суспензії на тверду фазу - осад, і рідину - освітлену воду. Тверду фазу формують завислі частки, осадження яких може характеризуватися гідравлічною крупністю  $\omega_0$  і електрофоретичною рухливістю. Дійсну електрофоретичну рухливість часток, визначають по різниці обчислених швидкостей осадження часток під дією електричного поля  $v_{\text{напр}}$  і без нього

15  $\omega_0$ ,

$$U = v_{\text{напр}} - \omega_0 \quad (1)$$

20 Найбільш близьким по сукупності ознак до пристрою, що заявляється, є пристрій для дослідження електрокінетичних властивостей білків [О.Н. Григоров. Электрокинетические явления. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. - 199 с.], який включає U - подібну скляну трубку, спеціальне пристосування для переміщення окремих частин трубки на шліфах в горизонтальному напрямі, хлоросрібні електроди, низькотемпературний термостат, джерело живлення.

25 Для відхилення теплового ефекту прилад поміщають в низькотемпературний термостат. Рекомендуються термостатування в інтервалі температур, максимальній щільності розчину, що відповідає (2-3 °C). За цих умов порушення, які відбуваються за рахунок виділення тепла при пропусканні струму, будуть зведені до мінімуму. Для виділення окремих фракцій білків, що мають різні електрофоретичні швидкості, застосовують принцип протитечії.

30 Недоліком відомого пристрою є те, що він призначений для вивчення електрокінетичних властивостей білків і не може бути застосований для дослідження властивостей завислих часток, що містяться у виробничих і комунальних стічних водах, які по щільності у багато разів перевищують білкові структури, і мають відносно низькі електрофоретичні швидкості, що робить неможливим їх виділення на даній установці.

35 В основу корисної моделі поставлена задача розробки пристрою для вивчення електрокінетичних властивостей завислих часток, яким, за рахунок установки графітових електродів по вертикальній осі циліндра забезпечується розширення функціональних можливостей, що дозволяє проводити дослідження завислих часток, що містяться у виробничих і комунальних стічних водах.

40 Для вирішення поставленої задачі в пристрої для дослідження електрокінетичних властивостей завислих часток, що включає термостат, джерело живлення, електроди, відповідно до корисної моделі у термостаті поміщений циліндр з мірною шкалою, по вертикальній осі якого встановлений верхній і нижній графітові електроди.

45 Запропонований пристрій містить циліндр з прозорого діелектрика 1, в якому розміщені верхній електрод 2 і нижній електрод 3, що виконані з графіту і встановлені по вертикальній осі циліндра 1. Електроди сполучені з джерелом живлення постійного струму 4, амперметром 5. Циліндр 1 встановлений в термостаті 6, заповненому термостатуючою рідиною 7. Регульовальний прибор температури 8, сполучений з нагрівальним елементом 9, циркуляційним насосом 10 і термометром електроконтактним 11, встановленим на верхній кришці термостату 12.

50 Пристрій працює таким чином. Циліндр 1 встановлюють в термостаті 6 заповненому термостатуючою рідиною 7. Пробу стічних вод з концентрацією завислих часток 300-400 г/дм<sup>3</sup> ретельно перемішують і заздалегідь доводять до необхідної температури, потім заливають в циліндр 1. На поверхню рідини встановлюють верхній електрод 2 закріплений на поплавці, підключають його і нижній електрод 3 до джерела живлення постійного струму 4 і амперметру 5. Підтримують задані температурні параметри за допомогою регульовальника температури 8, який управляє нагрівальним елементом 9 і циркуляційним насосом 10 за свідченнями термометра електроконтактного 11, встановленого на верхній кришці термостату 12.

55 При накладенні різниці потенціалів на верхній електрод 2 і нижній електрод 3 в досліджуваному зразку стічних вод відбувається інтенсивне розшарування фаз. За мірною



шкалою нанесеною на стінку циліндра 1 через певні проміжки часу контролюють швидкість переміщення межі розділення фаз під дією електричного поля. Задані температурні параметри експерименту підтримуються за допомогою регулювальника температури 8, який управляє нагрівальним елементом 9 і циркуляційним насосом 10 за свідченнями термометра електроконтактного 11 встановленого на верхній кришці термостату 12.

5 Набутих значень швидкостей переміщення межі розділення фаз, використовують для обчислення електрофоретичної швидкості зважених часток за формулою 1 і визначення електрокінетичного потенціалу

$$\xi = \frac{6\pi\eta U}{Dn} \quad (2),$$

10

де  $\eta$  - в'язкість рідини, сПз;

D - діелектрична проникність рідини;

n - градієнт потенціалу зовнішнього електричного поля, В/см.

15 Потенціал, відповідний межі ковзання фаз -  $\xi$  електрокінетичний потенціал, є важливою характеристикою колоїдної системи і значною мірою визначає стійкість колоїдів. При чималих значеннях дзети-потенціалу ( $\xi < 30$  мВ) колоїдні системи стійкі, оскільки сили відштовхування, що виникають між частками унаслідок деформації дифузних електричних шарів, перешкоджають укрупненню дисперсної фази. Стічні води металургійних підприємств - це гетерогенні системи, що складаються з часток дисперсної фази різного походження, розподілені

20 в рідкому середовищі - водному розчині електроліту. Значення дзети-потенціалу визначені за допомогою заявленого пристрою для стічних вод газоочисток доменних печей при температурі 20 °С і напрузі 100В -  $\xi = -0,01$  мВ, при напрузі 150В -  $\xi = -0,05$  мВ; при напрузі 200В -  $\xi = -0,01$  мВ.

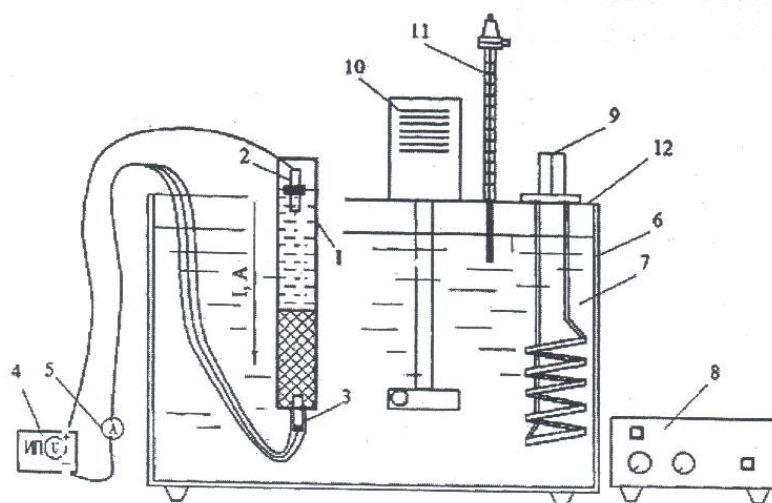
25 Переваги пристрою в тому, що визначення електрокінетичних явищ виконується за швидкістю переміщення межі розділу фаз, яка безпомилково визначається за мірною шкалою нанесеною на прозору стінку циліндра, проби стічних вод обробляються постійним струмом фіксованої потужності за допомогою хімічно нейтральних графітових електродів. Ультратермостат дозволяє фіксувати температуру проб стічних вод протягом всього часу проведення експерименту, що дозволяє стабілізувати величину в'язкості рідини. Пристрій може

30 бути застосований для вивчення електрокінетичних властивостей завислих часток, що містяться у виробничих і комунальних стічних водах.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

35 Пристрій для дослідження електрокінетичних властивостей завислих часток, що включає термостат, джерело живлення, електроди, який відрізняється тим, що у термостаті поміщений циліндр з прозорого діелектрика з мірною шкалою, по вертикальній осі якого встановлені верхній і нижній графітові електроди.

UA 68265 U



---

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601

---



УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 68489

СПОСІБ ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДІВ ЗАЛІЗОВМІСНИХ  
ШЛАМІВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **26.03.2012.**

Голова Державної служби  
інтелектуальної власності України

М.В. Паладій







ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **68489** (13) **U**  
(51) МПК  
**C02F 11/12** (2006.01)

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2011 11131</b>	(72) Винахідник(и): <b>Атаманюк Олександр Анатолійович (UA), Назаренко Микола Прокопович (UA), Сокольник Володимир Іванович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>19.09.2011</b>	(73) Власник(и): <b>ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ, пр. Леніна, 226, м. Запоріжжя, 69006 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>26.03.2012</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>26.03.2012, Бюл.№ 6</b>	

**(54) СПОСІБ ЗНЕВОДНЕННЯ ОСАДІВ ЗАЛІЗОВМІСНИХ ШЛАМІВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

**(57) Реферат:**

Спосіб зневоднення залізовмісних шламів металургійного виробництва, що включає гравітаційне осадження завислих часток, відведення дренажних вод і зневоднення осаду під впливом постійного струму електрики. Гравітаційному осадженню піддають суміш шламів газоочисток доменних печей і аглофабрики і осад обробляють постійним струмом електрики.

**UA 68489 U**

UA 68489 U

Корисна модель належить до чорної металургії і може бути також використана для зневоднення осадів інших галузей промисловості.

Найбільш близьким по сукупності ознак до способу, що заявляється, є спосіб зневоднення осадів (патент України № 60135 МПК 7 C02F11/12 опубл. 10.06.2011), який включає гравітаційне осадження завислих часток, відведення дренажних вод, обробку їх постійним струмом електрики до необхідної міри зневоднення.

Під впливом постійного струму йде електроліз води з дегідратацією іонів, що покращує процес ущільнення осаду, зменшує розміри пор в шарі осаду, призводить до виникнення в його шарі електрокінетичних явищ електрофорезу і електроосмосу, які дозволяють зневоднювати осад до 5 %.

Недоліком вказаного способу є тривалий час обробки шламової води і осаду постійним струмом електрики, що призводить до збільшення витрат електроенергії на зневоднення осаду.

Процес зневоднення можна розділити на два етапи: перший - це електроліз шламової води, який призводить до фільтрації цієї води і ущільнення шламу до 40 % з вологістю до 50 %. Другий етап - це зневоднення осаду до 5 % з використанням електрокінетичних явищ - електрофорезу і електроосмосу.

Для здійснення першого етапу витрати електроенергії складають порядку 8-12 кВт/год. на 1 т шламу (72 %). Для здійснення другого етапу витрати електроенергії складають 7-9 кВт/год. на 1 т шламу (28 %). Мінімізація витрат електроенергії вимагає обмеження ступеня зневоднення.

В основу корисної моделі поставлена задача розробки способу зневоднення, в якому за рахунок зміни параметрів процесу забезпечується скорочення часу обробки постійним струмом електрики і зниження витрат електроенергії.

Для вирішення поставленої задачі в способі зневоднення залізовмісних шламів металургійного виробництва, що включає гравітаційне осадження завислих часток, відведення дренажних вод і зневоднення осаду під впливом постійного струму електрики, відповідно до корисної моделі, гравітаційному осадженню піддають суміш шламів газоочисток доменних печей і аглофабрики при співвідношенні (2,5-3,0): 1 і осад обробляють постійним струмом електрики до досягнення вологості 23,0-25,0 %.

Співвідношення суміші шламів газоочисток доменних печей і аглофабрики (2,5-3,0): 1, дозволяє на першому етапі за рахунок седиментаційних процесів осадження часток з різним гранулометричним складом і синергічною дією при цьому електрокінетичних процесів поліпшити ущільнення шламів до 28,6 % і вміст вологи до 35,4 %. Витрати електроенергії на першому етапі виключають, електроліз шламової води не проводять, видалення води з поверхні шламу інтенсифікують додатковими насосами і ежекторами. На другому етапі зневоднення осаду суміші шламів здійснюють її обробку постійним струмом електрики величиною 0,22 А до досягнення вологості 23,0-25,0 %.

У технології використання залізовмісних шламів в шихті аглофабрики для утворення однорідної маси шихтових матеріалів перед спіканням, досить зниження кількості вологи утилізованих шламів до 25 %, інакше доводиться штучно зволожувати шихту.

Заявлений спосіб здійснюють таким чином: стічні води від газоочисток доменних печей і аглофабрики надходять на споруди для згущування завислих часток до концентрації 400-600 кг/м<sup>3</sup> двома різними потоками, після чого в співвідношенні (2,5-3,0):1 прямують на зневоднення в горизонтальний відстійник. Після заповнення осадом горизонтального відстійника і видалення з його поверхні просвітленої води ежектором, підключають установку для обробки осаду постійним струмом величиною 0,22 А на період 1,67 години, що досить для досягнення вологості осаду 25 %, після чого обробку напругою припиняють, краном грейфера осад відвантажують з осадочної камери відстійника для повторного використання.

Спосіб випробуваний в лабораторних умовах. Відбирали проби стічних вод з концентрацією завислих часток 400-600 кг/м<sup>3</sup> з діючих оборотних циклів аглофабрики і газоочисток доменних печей комбінату "Запоріжсталь", після чого з різним співвідношенням суміші шламів заповнювали макет горизонтального відстійника, де відбувалося гравітаційне осадження завислих часток і видалення просвітленої води через переливну кромку, після заповнення осадом осадочної камери горизонтального відстійника і видалення просвітленої води з поверхні осаду ежектором підключали установку для обробки осаду постійним струмом величиною 0,22-0,24 А, досягали вологості осаду 23-25 %, після чого обробку напругою припиняли, визначали час експерименту і витрати електричної енергії на обробку. Результати експериментів представлені у таблиці.



UA 68489 U

Таблиця

Залежність витрат електроенергії на зневоднення осадів залізовмісних шламів газоочисток доменних печей і аглофабрики від співвідношення їх суміші

Співвідношення суміші шламів	Характеристики осаду, що обробляється	Час обробки	Потужність установки	Вологість осаду
10:1	Осад щільністю 42,4 %, вологість 56,8 %	3,5 год	8,62 кВт/год·т	25 %
5:1	Осад щільністю 36,2 %, вологість 46,4 %	3,0 год	7,24 кВт/год·т	25 %
(2,5-3,0):1	Осад щільністю 28,6 %, вологість 35,4 %	1,67 год	5,9 кВт/год·т	25 %
1:1	Осад щільністю 32,4 %, вологість 39,8 %	2,5 год	6,28 кВт/год·т	25 %

5 При зневодненні суміші шламів в співвідношенні (2,5-3,0):1 газоочисток доменних печей і аглофабрики на першому етапі, за рахунок седиментаційних процесів при гравітаційному осадженні часток з різним гранулометричним складом і щільністю, які можна виразити формулою Оссена

$$P = 3\pi d \mu v \left(1 + \frac{3}{8} Re\right) \quad (1)$$

де d - діаметр частки, мм;  
 μ - коефіцієнт динамічної в'язкості рідини, Па·с;  
 v - швидкість падіння частки суспензії, мм/сек;  
 Re - число Рейнольдса.

10 Відбувається щільніше укладання часток - дрібні частки заповнюють пори між крупними частками.

Також в результаті синергійної дії електрокінетичних процесів, які можна виразити класичною формулою Гельмгольца-Смолуховського

$$U = \frac{\zeta D}{6\pi\eta} \quad (2)$$

15 де ζ - в'язкість рідини, сПз;  
 D - діелектрична проникність рідини;  
 η - електрокінетичний потенціал частки, В;  
 U - електрофоретична рухливість часток, мм/сек.

20 Збільшується електрофоретична рухливість суміші часток, тому без обробки води постійним струмом значно покращується ущільнення шламу до 28,6 % з вмістом вологи до 35,4 %.

25 Перевагою способу зневоднення суміші шламів в співвідношенні (2,5-3,0):1 газоочисток доменних печей і аглофабрики є скорочення часу зневоднення до 1,67 години, інтенсивності обробки постійним струмом до 0,22 А, скорочення витрат електроенергії на зневоднення до 72 %.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

30 Спосіб зневоднення залізовмісних шламів металургійного виробництва, що включає гравітаційне осадження завислих часток, відведення дренажних вод і зневоднення осаду під впливом постійного струму електрики, який відрізняється тим, що гравітаційному осадженню піддають суміш шламів газоочисток доменних печей і аглофабрики при співвідношенні (2,5-3,0):1 і осад обробляють постійним струмом електрики до досягнення вологості 23,0-25,0 %.

Комп'ютерна верстка Л.Литвиненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01601