

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
МИСиС
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»
(НИТУ «МИСиС»)
Ленинский проспект, 4, Москва, 119049
Тел. (495)955-00-32; Факс: (499)236-21-05
<http://www.misis.ru>
E-mail: kancela@misis.ru
ОКПО 02066500 ОГРН 1027739439749
ИНН/КПП 7706019535/ 770601001
№

На № _____

Отзыв ведущей организации

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям,

д.т.н., профессор

Филонов М.Р.

2020 г.



ОТЗЫВ

**ведущей организации по диссертационной работе
Гольберга Григория Юрьевича «Развитие теории образования и разрушения
флокуляционных структур в процессах разделения суспензий тонкодисперсных
продуктов обогащения углей», представленной на соискание учёной степени
доктора технических наук по специальности 25.00.13 «Обогащение полезных
ископаемых»**

Представленная на отзыв диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения и приложений; содержит 81 рисунок, 8 таблиц и список использованных источников из 232 наименований.

Актуальность работы.

Проблема повышения эффективности применения флокулянтов в водно-шламовых технологиях обогатительных предприятий является актуальной со второй половины XX века. Это обусловлено следующими причинами:

- доля тонкодисперсных частиц в перерабатываемом минеральном сырье имеет отчётливо выраженную тенденцию к возрастанию, что, в свою очередь, вызывает увеличение расхода флокулянтов для агрегирования частиц твердой фазы суспензий в процессах обезвоживания;

- возрастающие требования по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов диктуют необходимость применения замкнутого водооборота, глубокого осветления шламовых вод и получения обезвоженных осадков с низкой влажностью;

- на обогатительных фабриках всё более широкое распространение получает новое высокоэффективное обезвоживающее оборудование, в частности, ленточные фильтр-прессы, работа которых невозможна без применения флокулянтов.

В то же время решение научно-технических задач по повышению эффективности флокуляционного агитирования тонкодисперсных частиц в процессах обезвоживания сдерживается вследствие недостаточной изученности физико-химических закономерностей этого процесса. Это не позволяет обеспечить достижение необходимых значений технологических показателей разделения суспензий, что, в свою очередь, приводит к неоправданному увеличению расхода флокулянтов, снижению производительности оборудования водно-шламового цикла, увеличению содержания твёрдой фазы в оборотной воде предприятий и получению обезвоженных твёрдых продуктов с повышенной влажностью. Поэтому необходимо установить взаимосвязь физико-химических закономерностей флокуляции со свойствами суспензий и флокулянтов.

Цель настоящей работы заключается в развитии теории поверхностных взаимодействий в дисперсных системах на основе установления новых закономерностей образования и разрушения флокуляционных структур тонкодисперсных продуктов обогащения углей. Для этого диссертантом использованы физико-химические закономерности поверхностных взаимодействий в системах с жидкой дисперсионной средой и твёрдой дисперсной фазой.

Оценка внутреннего единства полученных результатов

Диссертационная работа охватывает все основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается общей целенаправленностью работы, основной идейной линией, взаимосвязью научных результатов, положений и выводов.

Во введении обоснована актуальность работы и сделан вывод о необходимости установления взаимосвязи свойств агрегатов частиц с условиями их образования и свойствами исходных фаз. Сформулирована цель работы: развитие теории поверхностных взаимодействий в дисперсных системах на основе установления новых закономерностей образования и разрушения флокуляционных структур тонкодисперсных продуктов обогащения углей для повышения эффективности процессов обезвоживания суспензий.

В первой главе выполнен подробный и всесторонний анализ известных данных по теории флокуляции суспензий, включая: энергетические и кинетические закономерности образования флокуляционных структур; свойства этих структур в статических и динамических условиях; методы оценки эффективности применения флокулянтов. В выводах по этой главе констатированы недостаточно изученные аспекты теории флокуляции, и, соответственно, намечены направления исследований, предусматривающие:

- аналитическое определение принципиальной возможности флокуляции минеральных частиц;
- уточнение последовательности и временных рамок протекания ортокинетической и перикинетической флокуляции;
- установление закономерностей изменения влажности флокуляционных структур и их прочности;
- разработка методического подхода к определению условий эффективного применения флокулянтов в процессах обезвоживания суспензий;
- разработка развитой теории образования и разрушения флокуляционных структур.

Во второй главе рассмотрены теоретические аспекты процесса флокуляции минеральных суспензий. В диссертационной работе выполнен аналитический расчет ДЛФО с акцентом на структурную (гидрофобную) составляющую потенциальной энергии взаимодействия частиц дисперсной системы. Автором для расчета гидрофобной составляющей применительно к минералам использованы данные краевого угла смачивания. На основании расширенной теории ДЛФО и разработанной диссертантом оригинальной модели, позволяющей рассчитать количество макромолекул флокулянта на одну минеральную частицу известного диаметра, сформулированы условия, при которых флокуляционные структуры образуются беспрепятственно, или их образование затруднено. На основании анализа состояния предельного напряжения сдвига флокуляционных структур при сдвиге установлено, что прочность агрегатов определяется главным образом силами электростатического притяжения заряженных функциональных групп макромолекул полимера и поверхности твёрдой фазы; расчётное значение силы притяжения составляет $(1-2) \cdot 10^{-12}$ Н на один контакт частицы и полимера.

Также установлены следующие закономерности функционирования и разрушения флокуляционных структур:

- на основании закономерностей течения жидкостей в капиллярно-пористых средах выведено уравнение, описывающее кинетику изменения влажности в процессе механического синерезиса монотонно убывающей экспоненциальной зависимостью с горизонтальной асимптотой;

- установлен характер зависимости предельного напряжения сдвига флокуляционных структур от диаметра частиц и расхода флокулянта;

- выведено уравнение для определения максимальной допустимой скорости течения потока суспензии, обеспечивающей сохранность флокуляционных структур.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию процесса флокуляции и развитию теории образования и разрушения флокуляционных структур. Изучены процессы: селективной флокуляции угольного шлама; обезвоживания суспензии с добавлением одного и двух флокулянтов; реологии сфлокулированных суспензий. Полученные результаты подтверждают выводы теоретических исследований, что убедительно обосновано с применением методов математической статистики. Также выявлены закономерности обезвоживания суспензий дренированием.

В диссертации получили развитие исследования разделения глинистых минералов и углей на основе обратной зависимости между размером фракций и зольностью. Измерения электрокинетического потенциала (ЭКП) подтвердили более высокие значения ЭКП глинистых минералов, что должно способствовать их пептизации и отделению на стадии сгущения.

Установлено, что угольная фракция беспрепятственно образует агрегаты с применением любых анионоактивных флокулянтов. В то же время взаимодействие породной фракции с сильными анионоактивными флокулянтами затруднено, поскольку высота потенциального барьера превышает значение 10 кТ. Весьма медленное осаждение породных частиц связано с тем, что их характерная крупность не превышает 10 мкм.

На основании выявленных диссертантом закономерностей, с учётом сведений, известных из литературы, развита теория образования и разрушения флокуляционных структур.

В четвёртой главе обоснован методический подход для определения наиболее эффективного реагентного режима флокуляционного кондиционирования суспензий перед операцией обезвоживания на ленточных фильтр-прессах.

Разработаны методические подходы для оценки эффективности применения флокулянтов в процессе обезвоживания суспензий дренированием.

В пятой главе изложены результаты промышленных испытаний технологий обезвоживания продуктов обогащения углей на ленточных фильтр-прессах (обогажительные фабрики «Нерюнгринская» и «Печорская») с учётом данных по реагентному режиму процесса, разработанных соискателем. На основании полученных результатов разработаны предложения по совершенствованию технологий обезвоживания тонкодисперсных продуктов обогащения углей с применением флокулянтов.

Научная новизна работы заключается в установлении новых закономерностей образования и разрушения флокуляционных структур на основе определения энергии и сил поверхностных взаимодействий в дисперсных системах с жидкой дисперсионной средой, твёрдой дисперсной фазой и макромолекулами полимерного флокулянта.

- Предложен аналитический подход для определения условий, благоприятных для агрегирования частиц и возможности селективной флокуляции.

- Установлены порядок, время протекания и особенности строения агрегатов частиц ортокинетической и перикинетической флокуляции.

- Определены кинетические закономерности механического синерезиса флокул.

- Установлен характер зависимости прочности флокуляционных структур от расхода флокулянта и крупности минеральных частиц.

- Выявлен механизм разрушения и определены количественные характеристики прочности флокуляционных структур при сдвиге.

- Выведено уравнение, позволяющие определить параметры режима течения суспензий, благоприятного для сохранения агрегатов частиц.

- Развита теория образования и разрушения флокуляционных структур.

Практическая значимость работы. Предложен расчет выбора оптимальных комбинаций анионоактивных и катионных полиэлектролитов. Разработан методический подход для оценки эффективности применения флокулянтов для

обезвоживания суспензий на ленточном пресс-фильтре дренированием, основанный на определении предельного статического напряжения сдвига и удельного объёмного сопротивления осадков.

Предложенный диссертантом методический подход был использован для обоснования рекомендаций по рациональным режимам флокуляционного кондиционирования и обезвоживания суспензий продуктов обогащения углей на обогатительных фабриках «Нерюнгринская» и «Печорская». В диссертации приведены Акты об использовании результатов диссертации на практике.

Результаты диссертации, в частности, методику расчета расхода флокулянта для сгущения тонкоизмельченных продуктов для предотвращения перерасхода флокулянта и технологических осложнений при фильтровании в пресс-фильтрах, рекомендовать инжиниринговым центрам, исследовательским лабораториям «Норильский никель», АО «Урахмеханобр» УГМК, «ВИМС».

Полученные диссертантом новые знания в области физико-химических основ процесса флокуляции тонкодисперсных частиц используются в учебном процессе кафедрой Обогащения и переработки полезных ископаемых и техногенного сырья при проведении лекционных занятий и подготовке выпускных квалификационных работ.

Достоверность результатов работы обоснована корректностью поставленных задач, непротиворечивостью полученных результатов и выводов; проверкой теоретических положений результатами экспериментальных исследований; соответствием теоретических результатов полученным экспериментальным данным; применением методов математической статистики для обработки полученных экспериментальных данных.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследований; теоретическом анализе проблемы; выявлении новых закономерностей процессов образования и разрушения флокуляционных структур; выполнении экспериментальных исследований и обработке полученных данных; участии в разработке рекомендаций по технологиям обезвоживания продуктов обогащения на действующих предприятиях.

Замечания по диссертационной работе

1) Известно, что конформация макромолекулы полиэлектролита существенно зависит от pH среды. В связи с этим следовало бы указать в тексте диссертации, в

каком диапазоне значений рН верны допущения, сделанные соискателем при теоретическом анализе взаимодействия минеральных частиц с флокулянтами.

2) Кривые течения исследованных суспензий (рисунок 3.13, стр. 133) представлены соискателем в логарифмических координатах. Исходя из координат рисунка, проблематично утверждение автора о том, что исследуемую суспензию угольного флотационного концентрата без добавления флокулянта можно отнести к ньютоновским жидкостям. Также эта форма представления данных затрудняет определение значения предельного динамического напряжения сдвига, которое, как известно, численно равно величине отрезка, отсекаемого касательной к кривой течения (в точке её перегиба) на оси абсцисс.

3) Флокулянты образуют трехмерные структуры; объемная концентрация осадка при сгущении минеральных продуктов в присутствии флокулянтов выше, чем при использовании неорганических коагулянтов. В главе 3 автором утверждается, что предварительная обработка шламов флокулянтами может привести к образованию несжимаемых осадков. Из работы не ясно, как установленное автором явление скажется на фильтровании осадков, особенно под давлением.

4) В работе (гл. 4 и 5) изучены процессы обезвоживания осадков дренированием и фильтрованием. Насколько содержание остаточной влаги в осадке отличается от содержания влаги в кеке фильтрования? В практике углеобогащения широко применяются осадительные и обезвоживающие центрифуги. Исследовались ли обезвоживание сфлокулированных шламов центрифугированием?

5) При описании режима кондиционирования суспензий продуктов обогащения углей флокулянтами в промышленных условиях (гл. 5) было бы желательно указать значения скорости потока, времени перемешивания и как эти значения соотносятся с теоретически рассчитанными.

Отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки работы.

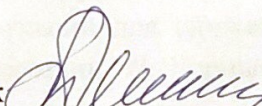
Автореферат соответствует структуре и содержанию диссертационной работы. Основные её положения раскрыты в 22 статьях, опубликованных в рецензируемых журналах, 3 патентах, одном учебном пособии.

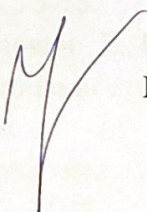
Диссертационная работа Г.Ю. Гольберга является завершённой научно-квалификационной работой, содержащей решение важной проблемы по

установлению закономерностей образования и разрушения флокуляционных структур. Работа соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней» (в редакции постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям.

Автор работы Гольберг Григорий Юрьевич заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 25.00.13 «Обогащение полезных ископаемых».

Диссертационная работа и положительный отзыв ведущей организации рассмотрены на заседании кафедры Обогащения и переработки полезных ископаемых и техногенного сырья (Протокол № 5, от 27 января 2020 г.).

Зав. кафедрой обогащения и переработки
полезных ископаемых и техногенного сырья
НИТУ «МИСиС», кандидат технических наук  Т.И. Юшина

Профессор кафедры обогащения и переработки
полезных ископаемых и техногенного сырья
НИТУ «МИСиС», профессор, доктор технических наук  Б.Е. Горячев

Сведения о ведущей организации

по диссертации Гольберга Григория Юрьевича тему:

«Развитие теории образования и разрушения флокуляционных структур в процессах разделения суспензий тонкодисперсных продуктов обогащения углей»,
представленной на соискание учёной степени доктора технических наук
по специальности 25.00.13 «Обогащение полезных ископаемых»

Полное наименование организации в соответствии с Уставом	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
Сокращённое наименование организации в соответствии с Уставом	НИТУ «МИСиС»
Фамилия, имя, отчество руководителя организации	Черникова Алевтина Анатольевна
Должность руководителя организации	Ректор
Почтовый индекс, адрес организации	119049, Россия, Москва, Ленинский проспект, 4

Телефон	8-495-955-00-32
Веб-сайт	www.misis.ru
Адрес электронной почты	info@misis.ru; kancela@misis.ru
Основные публикации работников ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет	<p>1) Дмитракова У.В., Круглов А.В., Юшина Т.И. Повышение эффективности процесса обезвоживания руд цветных металлов // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXIV Международной научно-технической конференции, проводимой в рамках XVII Уральской горнопромышленной декады. – Екатеринбург, 2019. – С. 179-184.</p> <p>2) Эпштейн С.А., Гаврилова Д.И., Завелев И.Г., Шамшин С.А., Юрин Е.Ю. Опыт применения полимерной эмульсии для снижения пыления углей при их перемещении // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019, № 10. – С. 5-15.</p> <p>3) Эпштейн С.А., Коссович Е.Л., Просина В.А., Добрякова Н.Н. Особенности сорбционного разупрочнения углей из потенциально выбросоопасных и неопасных пачек // Горный журнал. – 2018, № 12. – С. 18-22.</p> <p>4) Юшина Т.И., Петров И.М., Белоусова Е.Б. Современное состояние и перспективы использования флотационных машин в России // Горный журнал. – 2016, № 3. – С. 61-67.</p> <p>5) Николаев А.А., Петрова А.А., Горячев Б.Е. Кинетика закрепления зерен пирита на пузырьке воздуха в условиях перемешивания суспензии // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016, № 2. – С.131-139.</p> <p>6) Бочаров В.А, Игнаткина В.А, Каюмов А.А. Флотационное концентрирование на основе распределения минералов по крупности в схемах флотации массивных колчеданных руд цветных металлов // Цветные металлы. –2016, № 6. – С. 21-28.</p> <p>7) Поливанская В.В., Морозов В.В. Оптимизация режима флотации ошламованных апатит-штаффелитовых руд // Инновационные технологии</p>

обогащения минерального сырья: Материалы науч.-тех. конференции VI Уральского горно-промышленного форума, Екатеринбург, 2-4 декабря 2015 г. – С. 191-195.

8) Поливанская В.В., Морозов В.В. Повышение эффективности сгущения и флотации // Труды Межд. конф. «Науч. основы и практика переработки руд и техногенного сырья. – Екатеринбург, 15-16 апреля 2015 г. – С. 157-160.

9) Самыгин В.Д., Григорьев П.В. Моделирование влияния гидродинамических факторов на селективность процесса флотации. Ч. 1. Влияние диаметра пузырька и диссипации турбулентной энергии // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015, № 1. – С. 145-152.

10) Самыгин В.Д., Григорьев П.В. Моделирование влияния гидродинамических факторов на селективность процесса флотации. Ч. 2. Влияние разделения исходного питания на крупные и мелкие фракции частиц // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015, № 2. – С. 161-166.

11) Yushina T.I., Krylov I.O., Pak S.G., Petrov I.M. Analysis of technologies and practice of limonite ore processing // CIS Iron and Steel Review. 2015. № 10. С. 4-8.

12) Yushina T.I., Krylov I.O., Popova K.S., Vinnikov V.A. Technology of separation of carbon nanotubes from natural ferriferous manganese catalysts with the aid of agents made of acetylene alcohols // Iron and Steel Review. 2016. Т. 12. С. 4-8.

12) Yushina T.I., Popova K.S., Malyshev O.A., Shchelkunov S.A. Flotation of carbonaceous material with reagents based on acetylene alcohols // Eurasian Mining. 2016. № 2 (26). С. 23-28.

13) Юшина Т.И., Малышев О.А., Щелкунов С.А. Флотация золотосодержащих руд цветных металлов с применением реагентов на основе ацетиленовых спиртов // Цветные металлы. 2017. № 2. С. 13-19.

- 14) Yushina T.I., I. M. Krylov, V. S. Valavin, W. W. Toan Old iron-bearing waste treatment technology // Eurasian mining. 2018. No. 1. pp. 15–20.
- 15) Е.Л. Чантурия, В.А. Чантурия, В.Г. Миненко, А.Л. Самусев, М.В. Рязанцева, Е.В. Копорулина Влияние ультразвуковых воздействий на эффективность выщелачивания, структурно-химические и морфологические свойства минеральных компонентов эвдиалитового концентрата // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. № 2. С. 114-120.
- 16) Е.Л. Чантурия, Е.С. Журавлева Оценка возможности использования электрохимической технологии подготовки вод и реагентов для повышения технологических показателей переработки неокисленных железистых кварцитов // Черные металлы, № 5, 2018. С. 6-9.
- 17) Yushina, T.I., Purev, B., Yanes, K.S.D., Malofeeva, P.R. Improvement of porphyry copper flotation efficiency with auxiliary collectors based on acetylene alcohols // 2019. Eurasian Mining, № 1, с. 25-30.
- 18) Yushina, T.I., Purev, B., D'Elia, K., Namuungerel, B. Analysis of technological schemes and substantiation of the selection of the reagent regimes for copper molybdenum ores flotation // 2019. Non-ferrous Metals, № 46(1), с. 3-11.
- 19) Nikitenko, E.M., Evtushenko, M.B., Yushina, T.I. Improving the assay test for the degdekan deposit ores // 2019. Obogashchenie Rud, № 1, с. 34-38.