

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Гольберга Григория Юрьевича  
"Развитие теории образования и разрушения флокуляционных структур в  
процессах разделения суспензий тонкодисперсных продуктов обогащения  
углей",  
представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по  
специальности 25.00.13 "Обогащение полезных ископаемых"

На отзыв представлена диссертационная работа, содержащая введение, пять глав, заключение и приложения объёмом 229 страниц машинописного текста, 81 рисунок, 8 таблиц и список использованных источников из 232 наименований.

**Актуальность темы работы** связана с широким распространением флокулянтов в качестве реагентов, интенсифицирующих процессы разделения суспензий в различных отраслях промышленности. Наиболее существенное значение вопросы применения флокулянтов имеют для углеобогатительной подотрасли по причине большего объёма водопотребления по сравнению с обогащением руд чёрных и цветных металлов. Кроме того, в углеобогащении сравнительно высока доля фабрик с замкнутыми водно-шламовыми схемами, устойчивое функционирование которых невозможно без флокулянтов. Для дальнейшего повышения эффективности их применения, с учётом современных требований по охране окружающей среды, рациональному использованию природных ресурсов. В то же время современная теория процесса флокуляции суспензий не даёт определённых ответов на ряд вопросов по влиянию свойств флокулянта, твёрдой и жидкой фаз суспензии, а также их содержания в дисперсной системе на влажность, прочность и другие физико-химические характеристики образующихся агрегатов частиц. Возможность или невозможность флокуляции того или иного минерала определяется экспериментальным путём; аналитические зависимости для решения этой задачи отсутствуют. Не вполне ясна взаимосвязь между условиями применения флокулянтов и фильтрационными характеристиками обработанных ими суспензий. Все эти факторы обуславливают необходимость дальнейшего развития теории взаимодействий минеральных частиц с полимерами для повышения эффективности разделения суспензий в водно-шламовых технологиях обогатительных фабрик.

Цель диссертационной 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 технологических процессов: кондиционирования суспензий тонкодисперсных про-

дуктов обогащения углей флокулянтами; транспортирования сфлокулированных суспензий и их разделения на твердую и жидкую фазы.

В основу теоретического подхода для достижения этой цели автором положены известные физико-химические закономерности взаимодействий полимеров с твердой фазой в жидкой дисперсионной среде. При этом были учтены не только комплекс свойств этих фаз, но и их содержание в рассматриваемых системах, а также особенности механизмов взаимодействий для различных случаев.

**В первой главе** выполнен подробный анализ отечественной и зарубежной литературы по закономерностям строения, образования и разрушения агрегатов частиц мостиковой флокуляции. В результате было выявлено недостаточно ясные моменты в теории, заключающиеся в следующем.

- Отсутствуют аналитические зависимости для определения принципиальной возможности образования флокуляционных структур.
- Данные о порядке протекания ортокинетической и перикинетической флокуляции в полидисперсных системах не вполне ясны и противоречивы.
- Неизвестен характер зависимости влажности флокуляционных структур от времени при неразрушающих механических воздействиях.
- Имеющиеся в литературе сведения не позволяют непосредственно связать прочность агрегатов частиц со свойствами исходных фаз и расходом флокулянта. Это, в свою очередь, затрудняет решение задачи по определению режима течения суспензий, благоприятного для сохранения агрегатов.

На основании этих выводов были сформулированы направления дальнейших исследований для достижения цели, поставленной в работе.

- аналитическое определение условий взаимодействия минеральных частиц и различных водорастворимых флокулянтов;
- установление кинетических параметров и структуры агрегатов частиц ортокинетического и перикинетического процессов;
- установление кинетических закономерностей выделения влаги из флокуляционных структур в процессе механического синерезиса;
- выявление механизма разрушения и определение количественных характеристик прочности флокул под действием сдвига для установления условий, позволяющих обеспечить сохранение структуры флокул;
- построение развитой теории образования и разрушения флокуляционных структур тонкодисперсных продуктов обогащения углей;
- разработка методического подхода к определению условий эффективного применения флокулянтов в процессах обезвоживания суспензий с учётом структурно-механических и фильтрационных характеристик осадков.

**Во второй главе** рассмотрены теоретические закономерности образования флокуляционных структур. Применение расширенной теории ДЛФО в сочетании с предложенным диссертантом расчётным уравнением для определения минимального диаметра частиц, участвующих в процессе мостиковой флокуляции, позволило определить условия, как благоприятные, так и неблагоприятные для образования флокуляционных структур. Это, в свою очередь, позволяет прогнозировать возможность разделения селективной флокуляцией смеси минералов, существенно отличающихся друг от друга по поверхностным свойствам. Примеры расчётов взаимодействия различных минералов и флокулянтов приведены в приложении Б.

На основании закономерностей течения жидкостей в капиллярно-пористых системах выведено уравнение, описывающее изменение влажности флокуляционных структур при механическом синерезисе монотонно убывающей экспоненциальной зависимостью; это не противоречит физической сущности данного процесса.

Анализ состояния предельного напряжения флокуляционных структур при сдвиге позволил установить, что величина предельного динамического напряжения сдвига, являющаяся наиболее существенной характеристикой прочности структуры, возрастает с увеличением расхода флокулянта и убывает с увеличением диаметра частиц твёрдой фазы. С учётом этого выведено уравнение, позволяющее рассчитать режим течения суспензий, обработанных флокулянтами, благоприятный для сохранения флокуляционных структур.

**Третья глава** содержит экспериментальные данные, подтверждающие выводы теоретических исследований (глава 2).

- На примере угольного шлама ОФ "Распадская" показана возможность разделения угольной и породной фракций анионоактивным флокулянтом, что было теоретически обосновано с применением расширенной теории ДЛФО в главе 2.
- Подтверждена кинетическая зависимость, характеризующая изменение влажности флокуляционных структур угольных частиц в процессе механического синерезиса.
- Установлены реологические характеристики суспензии угольного флотационного концентрата с применением флокулянта и определены значения предельного динамического напряжения сдвига, не противоречащие теоретически рассчитанным.
- Установлен характер зависимостей удельного объёмного сопротивления осадка от реагентного режима флокуляции и получены данные для расчёта

ожидаемых значений технологических показателей работы ленточных фильтр-прессов.

**Четвёртая глава** посвящена обоснованию и разработке методического подхода для оценки эффективности применения флокулянтов для обезвоживания суспензий.

**В пятой главе** содержатся результаты опытно-промышленных испытаний технологий обезвоживания суспензий продуктов обогащения углей с применением флокулянтов, а также обоснованы рекомендации по повышению эффективности процессов флокуляции в промышленных условиях.

**Научная новизна работы** заключается в установлении закономерностей образования и разрушения флокуляционных структур.

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

Таким образом, в работе решена важная научная проблема: установлена взаимосвязь условий образования и разрушений флокуляционных структур, свойств фаз, входящих в их состав, и технологических показателей процессов обезвоживания.

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

- в соответствии с предложенным методическим подходом были обоснованы рациональные значения параметров процесса флокуляции и обезвоживания на ленточных фильтр-прессах тонкодисперсных суспензий продуктов обогащения углей обогатительных фабрик "Нерюнгринская" и "Печорская".
- расчёты по расширенной теории ДЛФО и результаты экспериментальных исследований подтвердили возможность обогащения угольного шлама ОФ "Распадская" селективной флокуляцией;
- уравнение для расчёта режима течения суспензии с учётом предельного динамического напряжения сдвига позволяет определить максимальное допустимое значение скорости с учётом расхода флокулянта на стадии проектирования обогатительных предприятий.

Результаты работы, полученные соискателем, были опубликованы им в учебном пособии (Лавриненко А.А., Свечникова Н.Ю., Гольберг Г.Ю. Тео-

рия и практика применения флокулянтов в обогащении углей. Учебное пособие. – Магнитогорск – М.: МГТУ им. Г.И. Носова, 2014. – 77 с.), которое используется в учебном процессе кафедрой металлургии и химической технологии МГТУ им. Г.И. Носова.

### **Замечания по диссертационной работе.**

1) Следовало бы указать граничные значения диаметров объектов, для которых применима расширенная теории ДЛФО.

2) Известно, что рН и ионный состав дисперсионной среды оказывают значительное влияние на конформацию макромолекул флокулянта. Поэтому было бы желательно указать в работе интервал значений рН и ионной силы дисперсионной среды, для которых верны принятые автором допущения.

3) В работе рассматривается прочность агрегатов частиц, образованных с применением анионоактивных флокулянтов. В то же время неясно, какими прочностными характеристиками обладают агрегаты, полученные действием катионоактивных и неионогенных флокулянтов.

4) Автор предлагает для аппроксимации зависимости гидростатического давления от времени степенную функцию и приводит весьма высокое значение коэффициента линейной корреляции – 0,99. Было бы желательно привести для сравнения значения названного коэффициента для других зависимостей: логарифмической, экспоненциальной и других.

5) Из описания технологических схем флокуляции и обезвоживания продуктов обогащения углей (глава 5) неясно, достаточно ли время пребывания суспензии в зоне перемешивания для полного протекания процессов гомогенизации флокулянта, его адсорбции на поверхности частиц и собственно флокуляции.

Отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки работы.

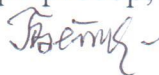
Диссертационная работа Г.Ю. Гольберга является завершённой научно-квалификационной работой, содержащей решение важной проблемы по установлению закономерностей образования и разрушения флокуляционных структур. Работа соответствует требованиям пп. 9-14 "Положения о порядке присуждения учёных степеней" (в редакции постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям.

Автореферат соответствует структуре и содержанию диссертационной работы.

Основные её положения раскрыты в 22 статьях, опубликованных в рецензируемых журналах, 3 патентах, одном учебном пособии.

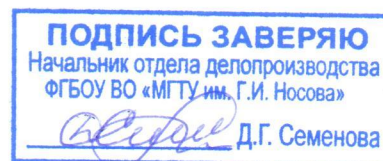
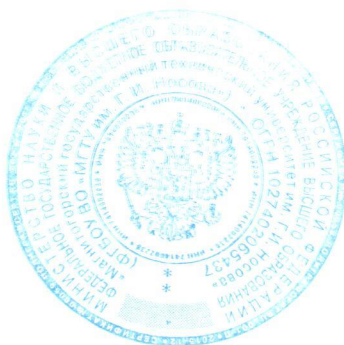
Автор работы Гольберг Григорий Юрьевич заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 25.00.13 "Обогащение полезных ископаемых".

Официальный оппонент,  
профессор кафедры металлургии  
и химических технологий  
МГТУ им. Г.И. Носова, профессор, д.т.н.  
В.Н. Петухов



455000, г. Магнитогорск, проспект Ленина, 38.  
Тел. 29-84-33.

Подпись профессора, д.т.н. Петухова В.Н. удостоверяю



28.01.2020

### Сведения об оппоненте

по диссертации 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"

Фамилия, имя, отчество	Петухов Василий Николаевич
Учёная степень	доктор технических наук
Научная специальность, по которой оппонентом защищена диссертация	25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых
Учёное звание	профессор
Полное название организации	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова"
Адрес, телефон, электронная почта	455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38 Тел. 8-(3519)-22-37-86 e-mail: Chief.Petuhov2013@yandex.ru
Должность	профессор кафедры металлургии и химических технологий
Основные публикации официального оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет	<p>1. Петухов В.Н., Свечникова Н.Ю., Куклина О.В., Пузина А.С., Гаврюшина Я.В., Волощук Т.Г., Басарыгин М.В. <u>Прогнозирование результатов флотации угля с использованием факторного эксперимента</u> // <u>Кокс и химия</u>. – 2019, № 6. – С. 6-11.</p> <p>2. Петухов В.Н., Чижевский В.Б., Волощук Т.Г. Повышение эффективности флотации природных энергоносителей путем использования реагентов-модификаторов // <u>Обогащение руд</u>. – 2018, № 3 (375). – С. 39-43.</p> <p>3. Петухов В.Н., Батяев Я.С., Петухова О.И., Карсакова Л.С. <u>Исследование влияния группового химического состава реагентов- вспенивателей на показатели флотации углей</u> // <u>Теория и технология металлургического производства</u>. – 2018, № 1 (24). – С. 9-13.</p> <p>4. Соложенкин П.М., Петухов В.Н., Кубак Д.А. Компьютерное моделирование сульфгидрильных соединений с гидроксильными радикалами и прогноз их в качестве флотореагентов // <u>Вестник МГТУ им. Г.И. Носова</u>. – 2016. – Т. 14, № 1. – С.26-33.</p>

5. Петухов В.Н., Субботин В.В., Фролов В.С. Разработка технологического режима флотации сфлокулированных угольных зерен, обеспечивающего высокую эффективность обогащения углей. // Кокс и химия, 2013. №10. С.37-41.
6. Кубак Д.А., Петухов В.Н., Субботин В.В. Повышение эффективности флотации флокулированной угольной мелочи с использованием реагента модификатора. // Кокс и химия, 2015. №3. С.26-33.
7. Субботин В.В., Петухов В.Н. Исследование влияния эффективности действия флокулянтов при обогащении угольного шлама. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2014, № 2. – С.20-25.
8. Кубак Д.А., Петухов В.Н. Использование величины энергии водородной связи межмолекулярных комплексов химических соединений с активными центрами угольной поверхности для обоснования их флотационной активности // Кокс и химия. – 2014, № 7. – С. 50-56.8.
9. Петухов В.Н., Смирнов А.Н., Кубак Д. А. Исследование структурных и квантово-химических параметров реагентов для обоснования их флотационной активности. / Материалы международной научно-практической конференции «50 лет РОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЕ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР ЗЕМЛИ». Москва 13-16 ноября 2017г.

Профессор кафедры металлургии  
и химических технологий  
МГТУ им. Г.И. Носова, профессор, д.т.н.  
В.Н.Петухов

