

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ 212.224.03
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 29.09.2021 г. № 23
(дата)

О присуждении **Потемкину Вадиму Андреевичу**, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Интенсификация процессов сепарации золотосодержащего сырья на основе направленного регулирования реологических свойств суспензии» по специальности 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых принята к защите 27.07.2021 г., протокол заседания №19, диссертационным советом ГУ 212.224.03 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, приказ ректора Горного университета от 25.06.2019 № 836 адм.

Соискатель, **Потемкин Вадим Андреевич**, 5.08.1993 года рождения, в 2017 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению 15.04.04 – Автоматизация технологических процессов и производств. В период подготовки диссертации с 2017 г. по настоящее время соискатель Потемкин Вадим Андреевич является аспирантом очной формы обучения кафедры обогащения полезных ископаемых в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Диплом об окончании аспирантуры получен 21.06.2021 г. Справка о сданных кандидатских экзаменах выдана 25 января 2021 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре обогащения полезных ископаемых федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Александрова Татьяна Николаевна, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», заведующая кафедрой обогащения полезных ископаемых.

Официальные оппоненты:

Ксенофонов Борис Семенович – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», профессор кафедры экологии и промышленной безопасности;

Мезенин Антон Олегович – кандидат технических наук, научно-производственная корпорация «Механобр-Техника» (АО), руководитель отдела продаж;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»**, г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном **Юшиной Татьяной Ивановной**, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой Обогащения и переработки полезных ископаемых и техногенного сырья, **Малофеевой Полиной Руслановной**, секретарём заседания, утверждённом **Филоновым Михаилом Рудольфовичем**, доктором технических наук, профессором, проректором по науке и инновациям указала, что разработанный метод оценки процесса сепарации на основе данных математического и численного моделирования может быть рекомендован к

внедрению в научно-исследовательскую и производственную практику обогатительных предприятий, специализирующихся на переработке упорных и особо упорных руд, а также к применению в образовательном процессе при подготовке горных инженеров-обогащителей.

Соискатель имеет 7 опубликованных работ, в том числе 2 статьи – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, 3 статьи – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Общий объём – 3.1 печатных листов, в том числе 1.8 печатных листов соискателя.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки:

1. Потемкин, В.А. Моделирование реологических свойств минеральных суспензий с использованием методов вычислительной гидродинамики / В.А. Потемкин, А.М. Элбэндари // Маркшейдерия и недропользование. – 2018. – №. 1. – С. 58-61.

Соискателем проведен анализ методов численного моделирования течений минеральных суспензий с учётом их реологических особенностей, выполнены расчёты течения минеральной суспензии в участке трубопровода с применением ПО Ansys Fluent.

2. Александрова, Т.Н. Оценка эффективности флотационной сепарации методом интерпретации данных моделирования / Т.Н. Александрова, В.А. Потемкин, Д.Н. Семенихин, В.В. Кузнецов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – №12 (специальный выпуск 56). – М.: Издательство «Горная книга». С. 3-13.

Соискателем разработан подход к оценке эффективности флотационной сепарации методом интерпретации данных моделирования с использованием программного обеспечения JKSimFloat, посредством

которого была построена имитационная модель технологической схемы углеродистой флотации. Проведено моделирование влияния времени пребывания пульпы во флотационной камере и степени аэрации на извлечение органического углерода, а также проведено сравнение эффективности разных флотационных машин.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. Aleksandrova, T.N. Beneficiation of carbonaceous rocks: New methods and materials / T.N. Aleksandrova, N.V. Nikolaeva, V.A. Potemkin // Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects: Proceedings of the 11th Russian-German Raw Materials Conference, November 7-8, 2018, Potsdam, Germany. – CRC Press, 2018. – P. 391. (Александрова, Т.Н. Обогащение углеродистых руд: новые методы и материалы / Т.Н. Александрова, Н.В. Николаева, В.А. Потемкин // Инновационное развитие сектора минеральных ресурсов: Вызовы и перспективы: Материалы 11-й Российско-германской сырьевой конференции, 7-8 ноября 2018 г., Потсдам, Германия. - CRC Press, 2018. - С. 391-398.)

Соискателем рассмотрена возможность извлечения благородных металлов из углеродистого сырья, проведены минералогические и технологические исследования. Результаты проведённого экспериментально-теоретического исследования показали перспективу вовлечения нетрадиционных источников благороднометалльного сырья в переработку.

4. Romashev, A.O. Research of the rheological properties of pulps in the separation of mineral raw materials / A.O. Romashev, V.A. Potemkin, T.N. Aleksandrova // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Conference proceedings volume 18. Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. – Issue: 1.4. – P. 131-138. (Ромашев, А.О. Исследование реологических свойств суспензий в процессах сепарации минерального сырья / А.О. Ромашев, В.А. Потемкин, Т.Н. Александрова //

18-я Международная мультидисциплинарная научная геоконференция SGEM 2018. Материалы конференции том 18. Наука и технологии в геологии, разведке и горном деле, Выпуск: 1.4, С. 131-138.)

Соискателем в рамках проведённого исследования была рассмотрена возможность применения модели турбулентности k - ε для моделирования течения минеральной суспензии. Также рассмотрена возможность применения пользовательской функции со степенным законом для неньютоновских жидкостей для определения нелинейной зависимости вязкости от температуры.

5. Aleksandrova, T.N. Justification of evaluation criteria of gold beneficiation ability by gravitational methods / T.N. Aleksandrova, V.A. Potemkin, A.O. Romashev // Journal of Applied Engineering Science. – 2020. – №18. P. 230-237. (Александрова, Т.Н. Обоснование критериев оценки обогатимости золота гравитационными методами / Т.Н. Александрова, А.О. Ромашев, В.А. Потемкин // Journal of Applied Engineering Science. 2020. №18. С. 230-237).

Соискателем проведено исследование по применению объектно-ориентированного программирования для обогатимости сырья гравитационными методами. Разработана программа для ЭВМ, позволяющая оценить конечные скорости падения минеральных сростков золота с минералами-носителями, а также классифицировать их на категории по разработанному критерию обогатимости.

Публикации в прочих изданиях:

6. Ромашев, А.О. Исследование и моделирование реологических свойств вязких суспензий / А.О. Ромашев, В.А. Потемкин, А.М. Хасенов // ИПКОН РАН. – 2018. – 4 с.

Соискателем произведено сравнительное моделирование течения минеральной суспензии с применением UDF-функции, описывающей нелинейность изменения вязкости по мере движения пульпы, и с использованием NNFPL-метода задания нелинейности.

7. Potemkin V.A. Modeling of mineral suspensions rheological

properties involving computational fluid dynamic methods / V.A. Potemkin // Freiberg University Forum (BHT) 2018: Scientific Reports on Resource Issues, TU Bergakademie Freiberg, –Volume 1. – 2018. – P. 228-234. (Потемкин В.А. Моделирование реологических свойств минеральных суспензий с использованием методов вычислительной гидродинамики / В.А. Потемкин // Фрайбергский университетский форум (BHT): Научные доклады по тематике использования ресурсов, ТА Фрайбергская горная академия, т. 1, 2018. С. 228-234).

Соискателем разработана комплексная модель для исследования реологических свойств минеральных суспензий на основе результатов постановки задачи в программном обеспечении Ansys Fluent. Предложенная модель может быть использована при модернизации обогатительного оборудования, позволяя контролировать структурообразование в потоке минеральной суспензии.

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

8. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2019612243, Российская Федерация. Программа расчёта скорости осаждения частиц: №2018664698 : заявл. 18.12.2018 : опубл. 13.02.2019 / Потемкин В.А., Александрова Т.Н. – 1 с. : ил.

9. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2020618724, Российская Федерация. Программа для расчёта эмпирических коэффициентов реологического уравнения: №2020617936 : заявл. 29.07.2020 : опубл. 04.08.2020 / Потемкин В.А., Александрова Т.Н. – 1 с. : ил.

Апробация работы проведена на международных научных конференциях и других научных мероприятиях, в том числе:

1. XV Международный форум-конкурс студентов и молодых учёных «Актуальные проблемы недропользования», Санкт-Петербург, 13-17 мая 2019 года. Тема доклада: «Using simulation for substantiation of effective technological solutions for gold suspensions beneficiation». Применение

численного моделирования для обоснования эффективных технологических решений при переработке золотосодержащих суспензий.

2. XVII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов, Санкт-Петербург, 27-29 марта 2019 года. Тема доклада: «Применение методов численного моделирования для обоснования эффективных технологических решений в обогащении золотосодержащего сырья»;

3. Всероссийская конференция-школа молодых учёных и специалистов «Развитие технологий добычи и обогащения месторождений полезных ископаемых» в рамках IX международной конференции «Горнодобывающая промышленность Баренцева Евро-Арктического региона: взгляд в будущее», 12-13 ноября 2019 года. Тема доклада: «Разработка и обоснование критерия обогатимости золотосодержащего сырья гравитационными методами»;

4. Конференция молодых специалистов в области переработки минерального сырья в рамках XXIX Международного конгресса по обогащению полезных ископаемых (IMPC2018), Москва, 18 сентября 2018. Тема доклада: «Оценка эффективности флотационной сепарации методом интерпретации данных моделирования»;

5. 69-го ежегодный форум ВНТ - Freiburger Universitätsforum 2018 «Future Materials – Safe Resources Supply – Circular Economy», Фрайберг, Германия, 6-9 июня 2018. Тема доклада: «Justification of effective simulation techniques for separation processes». *Обоснование эффективных подходов численного моделирования процессов сепарации.*

6. 58-я Студенческая конференция научных групп горного дела Краковской горно-металлургической академии, Краков, Польша, 1-9 декабря 2017 года. Тема доклада: «Application of Ansys Fluent software for modelling of rheological properties of mineral slurries». Применение ПО Ansys Fluent для моделирования реологических свойств минеральной суспензии.

7. Международная научно-практическая конференция «50 лет

Российской научной школе комплексного освоения недр Земли» (Москва, ИПКОН РАН), 13-16 ноября 2017. Тема доклада: «Исследование и моделирование реологических характеристик минеральных суспензий».

В диссертации Потемкина Вадима Андреевича отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: заведующей научно-исследовательской лабораторией «Моделирование технологических процессов добычи и переработки полезных ископаемых» филиала ФГБОУ ВО Мурманский арктический государственный университет, к.т.н., доцента **Д.Н. Шибасовой**; профессора кафедры процессов и аппаратов химической технологии Высшей школы технологии и энергетики ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», д.т.н. **Н.П. Мидукова**; проректора по научной и инновационной работе ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», д.т.н., профессора **А.Н. Хатьковой** и профессора кафедры водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», д.т.н., доцента **Л.В. Шумиловой**; начальника лаборатории подготовительных и вспомогательных процессов обогащения Дирекции по научно-технологическим исследованиям АО «Полиметалл Инжиниринг», к.т.н. **Д.Н. Семенихина**; и.о. зав. лаборатории флотационных реагентов и обогащения комплексных руд Горного института КНЦ РАН, к.т.н., ведущего научного сотрудника организации **Г.В. Митрофановой**; зав. сектором технологической минералогии Горного института Уральского отделения РАН – филиала ФГБУ Пермского федерального центра Уральского отделения РАН, д. г-м. н **А.Ф. Сметанникова**; директора по развитию бизнеса Rosky филиала в Северо-Западном Федеральном Округе Акционерного общества «КАДФЕМ Си-Ай-Эс», к.т.н. **А.Ю. Феоктистова**.

В отзывах даётся положительная оценка проведённых исследований, отмечена актуальность выбранной темы, высокая степень проработки вопроса и профессиональный подход к решению поставленных задач, однако имеется ряд замечаний:

1. В работе приведена оценка комплексности переработки золотосодержащей руды, однако не приведена экономическая оценка рентабельности предлагаемого решения (к.т.н. **Д.Н. Шибяева**).

2. В тексте автореферата не приведены параметры работы гидроциклона при операции дешламации (к.т.н. **Д.Н. Шибяева**).

3. В таблице 4 автореферата не приведено значение содержания золота в пробе руды Майского месторождения (д.т.н. **Н.П. Мидуков**).

4. Автором не показана связь влияния дешламации в гидроциклоне на результаты кинетики углеродистой флотации, представленных на рисунке 13 (д.т.н. **Н.П. Мидуков**).

5. В принципиальную схему обогащения золотосодержащих руд с углистыми включениями (19) следует перед агломерацией включить операцию обезвоживания слива (д.т.н. **А.Н. Хатькова** и д.т.н. **Л.В. Шумилова**).

6. В блоке дешламации (рис 19) слив является продуктом обогащения – хвостами, означает ли это, что в гидроциклоне осуществляется процесс обогащения? (д.т.н. **А.Н. Хатькова** и д.т.н. **Л.В. Шумилова**)

7. Некорректно указано содержание золота в руде 15,8% (к.т.н. **Д.Н. Семенихин**).

8. Как проводилось сравнение показателей удаления углеродистого вещества, если в одном случае проведены опыты на исходной руде, а во втором на хвостах гравитации (рис 12 автореферата)? (к.т.н. **Д.Н. Семенихин**).

9. За счет чего увеличивается комплексность переработки сырья? Для каких целей можно использовать продукт с высоким содержанием органического углерода? (к.т.н. **Д.Н. Семенихин**).

10. Автором не приведена информация по методике проведения опытов по флотации углеродистого вещества. Время агитации реагентов, режимные параметры процесса флотации (к.т.н. **А.Ю. Феоктистов**).

11. Определена ли автором экономическая целесообразность разработанных решений? Не с позиции повышения комплексности сырья, а с позиции окупаемости затрат на модернизацию существующей фабрики? (к.т.н. **А.Ю. Феоктистов**).

12. Требуется расшифровать в чем заключается DEM-CFD подход, применение которого, действительно, может быть перспективным для дальнейшего развития работы (к.т.н. **А.Ю. Феоктистов**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан алгоритм оценки обогатимости золотосодержащего сырья гравитационными методами на основе интерпретации данных численного и математического моделирования, по результатам которой можно сделать вывод о технологических условиях эффективного процесса разделения применительно к рудам Арктической зоны, содержащим крупное золото, а также провести градацию сырья на категории, в зависимости от критерия обогатимости; **разработан** алгоритм вычисления эмпирических коэффициентов реологического уравнения минеральной суспензии, модифицирующего уравнение движения Навье-Стокса и определяющего условия эффективного процесса классификации в гидроциклоне;

предложены принципиальные схемы обогащения руд Арктической зоны двух типов: для руд, содержащих крупное золото, а также для углеродистых руд двойной упорности; также предложена обобщённая

блочная принципиальная схема обогащения руд Арктической зоны в зависимости от технологических параметров минерального сырья;

доказано, что применение операции обесшламливания является эффективным методом обезуглероживания применительно к рудам Майского месторождения, а извлечение органического углерода в качестве дополнительного продукта приводит к увеличению комплексности использования сырья;

введено дополнение в классификацию золотосодержащего сырья по факторам упорности, а именно расширена категория «А», к которой относятся легкоцианируемые руды, посредством разбиения данной категории на два подтипа: руды, содержащие крупное золото и руды, не содержащие крупное золото.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана применимость метода оценки процесса сепарации золотосодержащего сырья на основе математического и численного моделирования, а также данных экспериментальных исследований;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс существующих основных методов исследования, который включает в себя серии лабораторных экспериментов в отношении руд Арктической зоны двух типов, в том числе определение эффективного метода обезуглероживания, определение уровня гравитационно-извлекаемого золота (GRG-тест) и т.д;

изложены положения, обосновывающие выбор методов обогащения как углеродистых руд Арктической зоны, так и того типа руд, в составе которого наблюдается наличие крупного золота, на основе чего была разработана блочная схема обогащения.

раскрыта проблема обогащения руд, в составе которых наблюдается наличие крупного золота, что является дополнительным фактором упорности;

изучено влияние реологических параметров минеральной суспензии на процесс классификации в гидроциклоне, а также процесс гравитационного разделения

использованы актуальные методы математического и численного моделирования, а также объектно-ориентированного программирования;

показаны существенные особенности руд Арктической зоны двух типов, учёт которых позволяет повысить эффективность переработки; доказаны;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

определены пределы обогатимости золотосодержащего сырья гравитационными методами на основе данных численного и математического моделирования, а также параметры эффективного процесса классификации с целью удаления углеродистого вещества;

создана программа для ЭВМ, предназначенная для расчёта конечных скоростей падения минеральных сростков с целью дальнейшей классификации по категориям с использованием введённого критерия обогатимости гравитационными методами;

создана программа для ЭВМ для вычисления эмпирических коэффициентов реологического уравнения, модифицирующего уравнение движения Навье-Стокса;

представлены рекомендации по принципам обогащения золотосодержащих руд Арктической зоны, базирующиеся на технологических параметрах исходного сырья, в частности содержании гравитационно-извлекаемого золота и углеродистого вещества;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ

результаты экспериментальных исследований получены с использованием сертифицированного оборудования, в числе которого установка с гидроциклоном и флотационные машины, анализатор крупности

Mastersizer и т.д.; результаты численного моделирования получены с применением лицензионного программного обеспечения;

теория построена на известных и проверяемых данных о проблеме обогащения упорных золотосодержащих руд, а также информации о технологических особенностях руд Арктической зоны, изложенной в отечественных и зарубежных источниках;

идея базируется на комплексе экспериментально-теоретических исследований и анализе мирового опыта обогащения упорных руд и оценка влияния реологических свойств минеральной суспензии на обогатительные процессы;

использованы современные подходы численного и математического моделирования, а также объектно-ориентированного программирования для анализа влияния реологических свойств минеральной суспензии на процесс гравитационного разделения, а также классификации в гидроциклоне;

Личный вклад соискателя состоит в изучении отечественных и зарубежных источников по проблеме исследования; постановке целей и реализации соответствующих задач исследования; формулировке и обосновании защищаемых положений; разработке методики определения дополнительного критерия упорности золотосодержащих руд; проведении комплекса экспериментальных исследований; разработке методики оценки процесса сепарации минерального сырья с учётом реологических параметров пульпы; обработке экспериментальных данных, полученных с использованием лабораторного оборудования; реализации разработанных ранее математических моделей в виде программного обеспечения; экономическом обосновании разработанных методик.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Потемкин В.А. согласился с замечаниями, а также ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы.

На заседании 29 сентября 2021 года диссертационный совет принял решение присудить Потемкину В.А. ученую степень кандидата технических наук за решение актуальной задачи развития технологии обогащения золотосодержащих руд Арктической зоны.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 4 доктора наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – нет человек, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

29.09.2021 г.



Сизяков Виктор Михайлович

Бодуэн Анна Ярославовна