



УТВЕРЖДАЮ

И.о. ректора ФГБОУ ВО
«Иркутский национальный
исследовательский технический
университет»

В.В. Смирнов

« 25 » 02 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Иркутский национальный исследовательский
технический университет»**

Диссертация Сенченко А.Е. «Повышение эффективности сепарации золотосодержащего сырья в центробежных безнапорных концентраторах» выполнена на кафедре обогащения полезных ископаемых федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ФГБОУ ВО ИРНИТУ).

В 1995 году Сенченко Аркадий Евгеньевич окончил Иркутский государственный технический университет по специальности «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов» с присвоением квалификации инженера-эколога (диплом ЭВ № 032933 от 24.04.1995).

В 2008 году окончил Иркутский государственный технический университет по программе профессиональной подготовки «Обогащение полезных ископаемых» с правом ведения профессиональной деятельности в сфере «Обогащения полезных ископаемых» (диплом ПП № 4336456 от 14.03.2008).

В период подготовки диссертации соискатель Сенченко Аркадий Евгеньевич работал в обществе с ограниченной ответственностью Научно-исследовательский и проектный институт «Технологии обогащения минерального сырья» в должности Генерального директора.

В период с 01.05.2023 по 01.11.2023 и с 01.02.2024 по 01.07.2024 был прикреплен для сдачи кандидатских экзаменов. Кандидатские экзамены сданы: 10.05.2023 – история и философия науки (технические) – хорошо, 09.02.2024 – иностранный (английский) язык – хорошо, 28.02.2024 – 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых – отлично.

Научный руководитель – Федотов Константин Вадимович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды имени С.Б. Леонова, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Списочный состав кафедры обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова (из числа НПР по основному месту работы) — 16 чел. Присутствовали на заседании- 15 человек:

1	Федотов К.В.	профессор д.т.н.,
2	Богданов А.В.	профессор д.т.н.,
3	Верхозина В.А.	профессор д.т.н.,
4	Домрачева В.А.	профессор д.т.н.,
5	Зелинская Е.В.	профессор д.т.н.,
6	Сарапулова Г.И.	профессор д.х.н.,
7	Федотов П.К.	профессор д.т.н.,
8	Барахтенко В.В.	доцент к.т.н.,
9	Бурдонов А.Е.	доцент к.т.н.,
10	Власова В.В.	доцент к.т.н.,
11	Перфильева Ю.В.	доцент к.т.н.,
12	Старостина В.Ю.	доцент к.т.н.,
13	Толмачева Н.А.	доцент к.т.н.,
14	Трусова В.В.	доцент к.т.н.,
15	Фомина Е.Ю.	доцент к.т.н.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

представленная Сенченко Аркадием Евгеньевичем диссертационная работа является завершенным научным трудом, выполненным по специальности 2.8.9. «Обогащение полезных ископаемых».

Актуальность работы.

В последние годы широкое распространение в практике обогащения полезных ископаемых получили аппараты центробежного типа, в которых разделение минеральных частиц происходит под действием центробежной силы, что в сочетании с силой тяжести позволяет существенно снизить предел крупности разделяемых минералов, повысить эффективность работы и улучшить показатели обогащения.

При этом, известно малое количество работ, в которых проводится теоретический обоснование имеющей место высокой эффективности разрыхления минеральной постели в рабочем конусе центробежных концентраторов. Один из перспективных способов повышения сепарационных характеристик центробежного обогащения, заключающийся в использовании разных способов подачи флюидизационной воды в центробежный сепаратор, также пока не нашел ни теоретического обоснования, ни практического применения. В этой связи тема настоящего диссертационного исследования представляется важной и актуальной как для теории, так и для практики гравитационного обогащения полезных ископаемых.

В области центробежной сепарации известны работы Лапланта А. (Laplanche A. R.), Нельсона В. (Knelson B. V.), Морса Р. (Morse R. D.), Лопатина А. Г., Кизевальтера Б. В., Богдановича А. В., Леонова С. Б., Федотова К. В., Меринова Н. Ф., Морозова Ю. П., и других исследователей.

Идея работы заключается в применении комбинированного способа подачи флюидизационной воды в центробежный сепаратор, который предусматривает наличие постоянного потока, поддерживающего минеральный слой на грани ожигения, и добавляющегося к нему пульсирующего потока, периодически переводящего слой минеральных частиц во взвешенное состояние и активирующего классифицирующие и сегрегационные процессы. Новый способ подачи флюидизационной воды интенсифицирует перераспределение минеральных частиц в кольцевых ячейках рабочего конуса сепаратора и оптимизирует механизм их разделения, что является отличием от обычного режима работы безнапорного центробежного концентратора. За счет этого увеличивается содержание частиц ценного компонента в рабочем конусе сепаратора и повышается их извлечение в концентрат..

Цель работы – повышение эффективности работы центробежных концентраторов, использующих флюидизационный способ разрыхления минеральной постели в рабочем конусе.

Для успешной реализации поставленной цели решались следующие основные задачи.

1. Теоретический анализ движения минеральных частиц в рабочем конусе центробежного сепаратора: формирование минеральной постели, перераспределение частиц внутри постели по сегрегационному и классифицирующему механизмам.

2. Теоретическое обоснование нового способа активизации процесса перераспределения минеральных частиц в объеме постели кольцевой ячейки сепаратора за счет комбинированной подачи флюидизационной воды.

3. Обоснование параметров разрыхления минеральной постели в кольцевой ячейке центробежного сепаратора при новом способе подачи флюидизационной воды.

4. Разработка технического решения для практической реализации нового способа регулирования режима работы центробежного сепаратора.

5. Проверка эффективности нового способа регулирования работы центробежного сепаратора в лабораторных и промышленных условиях.

Объект исследования – золотосодержащая руда месторождения Бадран (Республика Саха (Якутия)) и лежалые хвосты ее переработки, искусственные минеральные смеси.

Предмет исследования – закономерности разделения частиц обогащаемой руды по размеру, форме и удельному весу в минеральной постели рабочего конуса центробежного концентратора в поле действия центробежной силы при новом способе подачи флюидизационной воды и параметры регулирования этого процесса.

Методология и методы исследования.

Работа выполнена с использованием принципов и законов гидродинамики,

описывающих движение частиц в воде в стесненных условиях. На основе математического аппарата гидродинамики разработаны модели движения частиц от момента подачи с пульпой в рабочий конус и до момента закрепления в минеральной постели.

При изучении распределения частиц в ячейках рабочего конуса применялся метод криогенного замораживания с использованием жидкого азота. Для контроля движения частиц в минеральной постели применялась скоростная киносъемка в инфракрасном свете. Для изучения вещественного состава исходной руды и продуктов обогащения применялись методы минералогического, ситового, химического, спектрометрического, фазового и пробирного анализов аттестованных лабораторий. Экспериментальная проверка разработанных рекомендаций по управлению работой центробежных сепараторов в промышленных условиях проводилась путем проведения полупромышленных испытаний. Математическую обработку данных и их визуализацию осуществляли с помощью прикладной программы Microsoft Excel программного пакета Microsoft Office.

Научная новизна работы.

1. Разработана математическая модель, описывающая движение минеральных частиц разной крупности, формы и удельного веса в рабочем конусе центробежного сепаратора при флюидизационном способе разрыхления минеральной постели.

2. Теоретически обоснована и экспериментально доказана возможность повышения эффективности сепарационных процессов в минеральной постели рабочего конуса центробежного сепаратора за счет нового способа подачи флюидизационной воды.

3. В качестве фактора регулирования режима работы центробежного концентратора предложено использовать степень разрыхленности минеральной постели рабочего конуса (порозность) в диапазоне от 0,4–0,45 (уплотненное состояние) до порозности 0,62–0,65 (взвешенное состояние).

Практическая значимость работы.

Разработан способ управления режимом работы центробежных сепараторов, заключающийся в новом способе подачи флюидизационной воды, предусматривающем сочетание постоянного и пульсирующего потоков.

Применение нового способа подачи флюидизационной воды позволило при лабораторных испытаниях увеличить извлечение золота из лежалых хвостов прежних лет отработки руды месторождения Бадран с 33,42 % до 37,04 % (прирост 3,62 %) и серебра с 15,84 % до 20,31 % (прирост 4,47 %) по сравнению с режимом подачи постоянного потока флюидизационной воды.

Полупромышленные испытания нового способа подачи флюидизационной воды в центробежный сепаратор, установленный на золотоизвлекательной фабрике месторождения Бадран, подтвердили, что он позволяет повысить содержание золота в гравитационном концентрате на 16 г/т и увеличить извлечение в него золота на 2,1 % (имеется Акт о проведении

полупромышленных испытаний от 15.01.2024).

Предложена новая конфигурация внутренней поверхности рабочего конуса центробежного сепаратора, на конструкцию которого получен патент на изобретение № RU 2 278 735.

На новый способ подачи флюидизационной воды в рабочий конус центробежного сепаратора получен патент на изобретение № RU 2 321 461.

Личный вклад автора состоит в формулировании цели и задач диссертационной работы, создании математической модели, описывающей движение минеральных частиц в рабочем конусе сепаратора, разработке методик изучения минеральной постели с использованием скоростной киносъемки и криогенной заморозки, планировании и проведении лабораторных и полупромышленных испытаний, анализе и обработке полученных результатов, в формулировании выводов и рекомендаций, подготовке публикаций и апробации результатов исследования.

Положения, выносимые на защиту.

1. Новый способ подачи флюидизационной воды в центробежный сепаратор предусматривает сочетание постоянного потока жидкости, поддерживающего минеральную постель на грани оживения, и пульсирующего потока жидкости, периодически переводящих постель во взвешенное состояние и способствующих продвижению тяжелых частиц внутрь кольцевой ячейки и выносу легких частиц за ее пределы.

2. Добавление пульсирующего потока флюидизационной воды активизирует сегрегационный и классифицирующий механизмы разделения частиц в минеральной постели в зависимости от их удельного веса, формы и размеров, способствует накоплению частиц с высоким удельным весом в минеральной постели рабочего конуса центробежного сепаратора, повышает содержание и извлечение ценных компонентов в гравитационный концентрат.

3. Пульсирующая составляющая потока флюидизационной воды обеспечивает изменение разрыхленности минеральной постели в заданном диапазоне, начиная от порозности 0,4–0,45 (уплотненное состояние) до порозности 0,62–0,65 (взвешенное состояние).

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на II Всероссийской школе-семинаре молодых ученых, посвященной 75-летию со дня рождения члена-корр. РАН Леонова С.Б. (Иркутск, 2006 г.); на Международном совещании «Прогрессивные методы обогащения и технологии глубокой переработки руд цветных, редких и платиновых металлов» (Плаксинские чтения, г. Красноярск, 2006 г.); на IV Международной научной школе молодых ученых и специалистов, посвященной 30-летию ИПКОН РАН (г. Москва, 2007 г.); на Международном совещании «Современные методы комплексной переработки руд и нетрадиционного минерального сырья» (Плаксинские чтения, г. Апатиты, 2007 г.); на Конгрессах обогатителей стран СНГ (V Конгресс, г. Москва, 2005 г.; VI Конгресс, г. Москва,

2007 г.; VIII Конгресс, г. Москва, 2011 г.); на Международном совещании «Современные процессы комплексной и глубокой переработки труднообогатимого минерального сырья» (Плаксинские чтения, г. Иркутск, 2015 г.); на Международном совещании «Современные проблемы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья» (Плаксинские чтения, г. Москва, 2023 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 27 печатных работ, в том числе 2 патента РФ № RU 2 278 735 и № RU 2 321 461, подтверждающие техническую новизну конструкторских и технологических работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников информации из 102 наименований и трех приложений, изложена на 181 странице машинописного текста, содержит 22 таблицы и 60 рисунков.

Статьи в журналах из Перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ

1. Федотов, К. В. Расчет скоростей гидродинамических потоков в центробежном концентраторе / К. В. Федотов, А. А. Романченко, **А. Е. Сенченко** // Горный журнал. – 1998. – № 5. – С. 23–25.

2. Федотов, К. В. Численное определение составляющих скорости потока жидкости в центробежных аппаратах / К. В. Федотов, В. В. Дудкин, А. А. Романченко, **А. Е. Сенченко** // Обогащение руд. – 1998. – № 4. – С. 34–48.

3. Федотов, К. В. Практика извлечения труднообогатимого золота из россыпных месторождений / К. В. Федотов, С. Б. Леонов, **А. Е. Сенченко** // Горный журнал. – 1998. – № 5. – С. 56.

4. Федотов, К. В. Отдельные закономерности динамики твердых частиц в центробежных сепараторах / К. В. Федотов, В. Д. Казаков, **А. Е. Сенченко** // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. Специальный выпуск. – 2003. – С. 86–88.

5. Федотов, К. В. Центробежное обогащение при переработке отходов углеобогажительных фабрик / К. В. Федотов, **А. Е. Сенченко**, Ю. В. Куликов // Уголь. – 2007. – № 12(980). – С. 76–77.

6. Федотов, П. К. Гравитационно-флотационное обогащение золотосодержащей руды / П. К. Федотов, **А. Е. Сенченко**, К. В. Федотов, А. Е. Бурдонов // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2021. – Т. 27. – № 1. – С. 4–15.

7. **Сенченко, А. Е.** Обоснование комбинированного способа подачи воды в центробежный концентратор / А. Е. Сенченко // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2024. – Т. 30. – № 4. – С. 80–88.

Статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных реферативных базах данных Scopus, GeoRef

8. Федотов, П. К. Анализ технологических исследований золотосодержащих руд месторождения Чукотки / П. К. Федотов, **А. Е. Сенченко**, К. В. Федотов, А. Е. Бурдонов // Обогащение руд. – 2018. – № 2(374).

– С. 23–29.

9. Федотов, К. В. Моделирование движения двухфазного потока пульпы в центробежном сепараторе / К. В. Федотов, **А. Е. Сенченко** // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21. – № 11. – С. 30–35.

10. Федотов, П. К. Результаты исследования руды золоторудного месторождения на обогатимость гравитационными методами / П. К. Федотов, **А. Е. Сенченко**, К. В. Федотов, А. Е. Бурдонов // Цветные металлы. – 2021. – № 2. – С. 8–16.

11. Федотов, П. К. Технологические исследования золотосодержащей руды с использованием методов центробежной концентрации / П. К. Федотов, **А. Е. Сенченко**, К. В. Федотов, А. Е. Бурдонов // Известия УГГУ. – 2023. – Вып. 3 (71). – С. 77–86.

Патенты на изобретения

12. Пат. № 2321461, Российская Федерация, МПК В03В 5/32. Способ центробежной сепарации / Федотов К. В., **Сенченко А. Е.**, Куликов Ю. В., Макух Д. Г., Потемкин А. А.; заявитель и патентообладатель Федотов Константин Вадимович. – № заявки 2006132251/03, заявл. 08.09.2006; опубл. 10.04.2008. Бюл. № 10.

13. Пат. № 2278735, Российская Федерация, МПК В03В 5/32. Центробежный сепаратор / Казаков В. Д., **Сенченко А. Е.**, Толстой М. Ю., Федотов К. В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Иркутский государственный технический университет. – № заявки 2005100402/03; заявл. 13.01.2005; опубл. 27.06.2006. Бюл. № 18.

Другие публикации

14. Федотов, К. В. Повышение сепарационных характеристик безнапорных центробежных концентраторов при обогащении золотосодержащего сырья / К. В. Федотов, **А. Е. Сенченко**, Ю. В. Куликов // Золотодобывающая промышленность. – 2008. – № 2 (26), апрель. – С. 6–7.

15. Леонов, С. Б. Мобильная обогатительная установка для извлечения золота из эфельных отвалов промывочных приборов / С. Б. Леонов, К. В. Федотов, **А. Е. Сенченко**, А. А. Романченко // II Конгресс обогатителей стран СНГ: сборник материалов (Москва, 16-18 марта 1999 г.). – М.: МИСиС-Альтекс, 1999. – С. 71–72.

16. Федотов, К. В. Попутное извлечение благородных металлов на полиметаллических обогатительных фабриках / К. В. Федотов, А. А. Романченко, **А. Е. Сенченко** // II Конгресс обогатителей стран СНГ: сборник материалов (Москва, 16-18 марта 1999 г.). – М.: МИСиС-Альтекс, 1999. – С. 116.

17. Леонов, С. Б. Создание технологий для извлечения тонких фракций тяжелых минералов на основе определения механизма сепарации в центробежных концентраторах / С. Б. Леонов, К. В. Федотов, **А. Е. Сенченко**, А. А. Романченко // Проблемы комплексной переработки минерального сырья и охраны окружающей среды (Плаксинские чтения -1999): сборник докладов Международного совещания (Иркутск, 14-17 сентября 1999 г.). Москва, Изд-во ННЦ ГП-ИГД. – С. 22–23.

18. Федотов, К. В. Изучение моделей движения двухфазного потока в

центробежном сепараторе / К. В. Федотов, **А. Е. Сенченко**, Д. Г. Макух, Ю. В. Куликов // V Конгресс обогатителей стран СНГ: сборник материалов (Москва, 23-25 марта 2005 г.), Т. II. – М.: Изд-во «Альтекс», 2005. – С. 90–92.

19. Федотов, К. В. Применение центробежных методов обогащения в технологии переработки отходов углеобогатительных фабрик / К. В. Федотов, **А. Е. Сенченко**, М. А. Киселева, Ю. В. Куликов, С. А. Шевцова // Обогащение руд: материалы II Всероссийской школы-семинар молодых ученых с международным участием, посвященной 75-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН С. Б. Леонова (специальный выпуск) (Иркутск, 25-27 апреля 2006 г.). – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. – С. 93–95.

20. Федотов, К. В. Модуль обогащения для извлечения труднообогатимого золота из песков целиковых и техногенных рассыпных месторождений / К. В. Федотов, **А. Е. Сенченко**, Ю. В. Куликов // Обогащение руд: материалы II Всероссийской школы-семинар молодых ученых с международным участием, посвященной 75-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН С. Б. Леонова (специальный выпуск) (Иркутск, 25-27 апреля 2006 г.). – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. – С. 105–109.

21. Федотов, К. В. Современные методы центробежного обогащения и перспективные направления совершенствования центробежного оборудования для переработки труднообогатимого сырья / К. В. Федотов, **А. Е. Сенченко**, А. А. Романченко, Ю. В. Куликов // Обогащение руд: материалы II Всероссийской школы-семинар молодых ученых с международным участием, посвященной 75-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН С. Б. Леонова (специальный выпуск) (Иркутск, 25-27 апреля 2006 г.). – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. – С. 118–122.

22. Федотов, К. В. Расширение области применения центробежной сепарации при обогащении труднообогатимого золотосодержащего сырья / К. В. Федотов, **А. Е. Сенченко**, Ю. В. Куликов // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: материалы IV Международной научной школы молодых ученых и специалистов (Москва, 6-9 ноября 2007 г.). – М.: ИПКОН РАН, 2007. – С. 173–175.

23. Fedotov, P. K. Prospects of centrifugal concentration use and improvement for complex minerals processing / P. K. Fedotov, **A. Ye. Senchenko**, Yu. V. Kulikov, V. V. Tyutyunin // XXIV International Mineral Processing Congress (IMPC): Proceedings of the Congress (Beijing, 24-28 September, 2008). – Volume 1. – Beijing: Published by Science Press, 2008. – P. 1678-1685.

24. **Сенченко, А. Е.** Флюидизация в пульсирующем режиме при центробежном обогащении минерального сырья / А. Е. Сенченко // VIII Конгресс обогатителей стран СНГ: сборник материалов (Москва, 28 февраля - 02 марта 2011 г.), Т. I. – М.: МИСиС, 2011. – С. 188–192.

25. Федотов, К. В. Эффективные технологии гравитационного обогащения для комплексной переработки исходного и техногенного минерального сырья / К. В. Федотов, **А. Е. Сенченко**, Ю. В. Куликов // VIII Конгресс обогатителей стран СНГ: сборник материалов (Москва, 28 февраля - 02 марта 2011 г.), Т. I. – М.: МИСиС, 2011. – С. 193–197.

26. **Senchenko, A.** Improvement of centrifugal gravity concentrators performance for gold-containing minerals processing // XXVI International Mineral Processing Congress (IMPC): Proceedings of the Congress (New Delhi, 24-28 September 2012). – 2012. – P. 4846-4850

27. **Сенченко, А. Е.** Центробежная сепарация с пульсирующим давлением флюидизационной воды и воздуха / А. Е. Сенченко, К. В. Федотов // Современные проблемы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья (Плаксинские чтения – 2023): материалы Международной конференции (Москва, 02–05 октября 2023 г.) – М.: Изд-во Спутник, 2023. – С. 326–329.

Выводы.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления» и соответствует требованиям, установленным пунктами 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

Диссертация Сенченко Аркадия Евгеньевича на тему «Повышение эффективности сепарации золотосодержащего сырья в центробежных безнапорных концентраторах» является законченной научной-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития горно-перерабатывающей отрасли страны.

Диссертация Сенченко Аркадия Евгеньевича на тему «Повышение эффективности сепарации золотосодержащего сырья в центробежных безнапорных концентраторах» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых.

Заключение принято на заседании кафедры Обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды имени С.Б. Леонова ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет». Присутствовали на заседании 15 человек. В голосовании участвовали 15 человек.

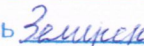
Результаты голосования: «За» – 15 человек; «Против» – нет; «Воздержались» – нет. Протокол от 14.02.2025 № 8.

Председательствующий на
заседании, профессор, д.т.н.

 Зелинская Е.В.

Секретарь заседания,
специалист по УМР

 Малишевская Е.А.

Подпись  
ЗАВЕРЯЮ
Общий отдел ФГБОУ ВО «ИРНИ»
