

## ОТЗЫВ

На диссертационную работу Комлева Алексея Сергеевича на тему «Высокочастотный комбинированный отбор проб руд и продуктов обогащения», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.9 «Обогащение полезных ископаемых»

### 1. Актуальность темы

Опробование минерального сырья является необходимой операцией на всех этапах разведки, добычи, обогащения руд и металлургической переработки получаемых продуктов. Операции отбора, подготовки и анализа проб минерального сырья и продуктов его обогащения регламентированы действующей нормативной документацией на опробование. Представительность результатов опробования определяется используемой методикой отбора и точностью анализа, которые характеризуются погрешностями анализа. Случайная и систематическая погрешности изучены в теории и на практике, действие погрешностей на результат опробования описаны в соответствующей нормативной документации. Вероятная систематическая и методическая погрешности являются мало изученными видами погрешностями специфического характера. Недостаточные знания и разработанность данных аспектов в теории и практике опробования оказывают отрицательное влияние на систему контроля качества продуктов обогащения, а также снижают эффективность управления процессами обогащения руд. Именно этим определяется значительная актуальность настоящей работы, решающей проблему научного обоснования и развития теории опробования руд и продуктов обогащения с получением алгоритмов минимизации и предотвращения возникновения погрешностей результата опробования с применением нового способа высокочастотного комбинированного опробования.

Актуальность настоящей работы обоснована не только важностью решаемой проблемы, но и перспективностью выбранных путей ее решения, включающих разработку принципиальных технологических и методических решений по снижению систематических и случайных погрешностей опробования и исключению погрешностей, вызываемых асимметрией распределений ценных компонентов в точечных пробах а также разработку технических решений для механизированного отбора и сокращения проб сыпучих и пульповых продуктов при снижении или исключении погрешностей результатов опробования.

### 2. Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка используемых источников из 341 наименования и четырех приложений, содержит 433 страницы машинописного текста, 86 рисунков и 105 таблиц.

**Во введении** дано обоснование актуальности темы исследований, сформулированы задачи, цель и идея исследований, приведены сведения о методах исследований,

сформулированы научная новизна и практическое значение работы, представлена информация по апробации работы и публикациях автора в научной печати.

В **первой главе** выполнен аналитический обзор современного состояния теории и практики процессов опробования, рассмотрены теоретические аспекты возникновения погрешностей результата опробования и методические основы их экспериментального определения, включая подход оценки асимметрии распределения массовой доли ценного компонента в опробуемом объекте. Приведены сведения о нормативной документации и стандартах на опробование, указаны преимущества и недостатки наиболее часто применяемых способов: - вычерпывания, - продольного и поперечного пересечения потока при отборе точечных проб.

Проведенным анализом установлено, что теоретические разработки в области опробования руд и продуктов обогащения характеризуются разной степенью изученности отдельных элементов теории. В частности, недостаточное развитие получил аналитический подход к расчету случайных погрешностей. Существующие методики расчета числа точечных проб и минимальной массы пробы показывают результаты, отличающиеся друг от друга в несколько раз. Отсутствуют исследования в части экспериментальной оценки систематических погрешностей и погрешностей, связанных с особенностями получения точечных оценок для асимметричных распределений. Погрешности результата опробования, обусловленные асимметричным распределением ценного компонента по опробуемому массиву, не отражены в существующей нормативной документации.

В соответствии с проведенным анализом современного состояния теории и практики процессов опробования, были сформулированы основные задачи исследования.

Во **второй главе** выполнен анализ причин возникновения систематической погрешности опробования вещественного состава, определения массы и влажности и методик экспериментального определения систематической погрешности. Рассмотрен алгоритм составления товарного баланса обогатительной фабрики как универсального способа оценки наличия систематической погрешности.

Показано, что достоверное определение причины появления и последующее исключение систематической погрешности требует многократного выполнения опробования с изменением его параметров с изменением конструкции оборудования, что обусловлено совместным проявлением систематической и случайной погрешностей и необходимостью учета случайной погрешности для надежного определения систематической погрешности.

Проведенный анализ практики ручного и механизированного отбора и подготовки проб определил причины систематической погрешности, сформулированные как нарушения технологии опробования, методические нарушения (некорректный расчет параметров опробования; формальное выполнение требований без учета условий опробования), технологические нарушения (искусственное регулирование объема и массы отбираемой пробы; неравномерное распределение точек отбора проб по площади, длине или объему опробуемого массива; применение способа продольного пересечения потока без усреднения потока в поперечном сечении в точке отбора пробы; применение способа продольного пересечения потока при аппаратурном анализе потоков пульпы и сыпучих продуктов), технические нарушения (использование инструментов и оборудования, конструкция или принцип действия которых способствуют потере пробы,



ограничивающих возможность полного пересечения потока, перемещение пробоотсекающего инструмента через поток с изменением скорости или остановками).

Разработаны базовые принципы опробования, позволяющие минимизировать систематическую погрешность. Согласно первому принципу необходимо выдерживание определенной геометрии и скоростного режима движения пробоотсекающего устройства. Согласно второму принципу необходимо поддерживать постоянным отношение массы точечной пробы к массе элемента опробуемого массива путем выбора массы и точки отбора проб в центрах тяжести элементов опробуемого массива и отдельным сокращением точечных проб. Результаты исследований подтверждено, что выполнение принципов правильного опробования обеспечивает отсутствие в результатах опробования систематической погрешности.

Показано, что эффективным инструментом для выявления и оценки систематических погрешностей опробования на обогатительных фабриках является *товарный баланс продуктов обогащения по ценным компонентам*. Разработана методика анализа погрешности по величине и знаку фактической невязки с определением мероприятий, направленных на поиск и устранение систематических и новых специфических погрешностей.

Результатами проведенных исследований обоснована необходимость увеличения числа точечных проб с целью их отбора от элементов опробуемого массива, которые являются однородными.

**В третьей главе** выполнен анализ причин возникновения случайных погрешностей опробования при выполнении отбора точечных проб. Рассмотрены причины и порядок снижения информативности точечных проб. Рассмотрены экспериментальные методы определения случайных погрешностей опробования.

Предложена методика определения коэффициента вариации по большому массиву данных по результатам текущего опробования на обогатительной фабрике. Разработаны или скорректированы понятия и уравнения для расчетов основных параметров и критериев опробования: - относительной случайной погрешности отбора проб, - информативность точечных проб, - необходимого числа точечных проб; случайных погрешностей подготовки и анализа точечных проб, коэффициента вариации; случайных погрешностей опробования минимальной массы пробы от перемешанных и неперемешанных массивов; - минимальной массы объединенной пробы.

Разработана новая методика отбора точечных проб с повышенной частотой, предусматривающая концентрирование в пробе заданного количества кусков.. Высокочастотный отбор точечных проб является практической реализацией покускового отбора проб и практическим решением задачи расчета минимальной массы пробы.

**В четвертой главе** выполнен анализ эффекта асимметрии распределения массовой доли ценного компонента в точечных пробах. Обоснованы и изучены новые специфические погрешности: вероятной систематической погрешности результата опробования (ВСП) и методической погрешности результата опробования. Показано, что изменения массовой доли приводят к возникновению погрешности нового типа – вероятной систематической погрешности (ВСП). Данная погрешность систематическая, так как имеет постоянный знак. Одновременно данная погрешность является стохастической, поскольку ее появление носит вероятностный характер. Показано, что методическая погрешность является погрешностью алгоритма обработки результатов как непосредственно анализа проб, так и алгоритма обработки результатов опробования продуктов обогащения.



На основании анализа практики опробования рудных потоков предложены и обоснованы механизмы устранения ВСП и алгоритмы корректировки результатов на основе определения и минимизации методической погрешности результатов опробования.

В **пятой главе** выполнено обоснование необходимости и принципов использования высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб. Приведены схемы и порядок применения данного способа опробования для кусковых и пульповых продуктов. Приведены примеры применения методики опробования различных по крупности и состоянию массивов и алгоритмов расчетов общепринятых и новых специфических погрешностей опробования.

Разработанный высокочастотный комбинированный способ отбора проб реализуется на практике путем выполнения отбора проб от исходного массива и от начальной пробы, выполняемый с интервалом, обеспечивающим достижение теоретического предела достоверности опробования при возможном уменьшении количества кусков в точечной пробе. Способ снижает случайную погрешность результата опробования до величины не более 0,5 % относительных, а также уменьшает до незначимых величин ВСП и методическую погрешность.

В **шестой главе** приведены результаты разработки устройства и принципа действия оборудования для отбора и сокращения проб высокочастотным комбинированным способом. Приведены основные требования к выбору оборудования и алгоритмы расчета для технологического проектирования оборудования. Дано описание разработанных промышленных образцов нового оборудования для отбора и сокращения проб: «СОД-2» для неподвижных продуктов; «СОП-1П» и «СОП-2П» - для движущихся пульповых продуктов; «СО-КН» - станция опробования для движущихся кусковых продуктов.

Предложены и теоретически обоснованы параметры работы дискового сократителя: номинальная производительность и номинальная частота вращения диска, позволяющие определить типоразмер дискового сократителя и выполнить количественную оценку условий применения для работы с различными пробами.

Предложен алгоритм расчета оборудования станции опробования пульпы и разработан типоразмерный ряд станций опробования пульпы для отбора и сокращения проб от потоков в трубопроводах.

Устройство и принцип действия разработанного оборудования для отбора и сокращения проб защищено двумя патентами Российской Федерации на изобретение, а также сертифицировано и декларировано в добровольном порядке.

В **седьмой главе** представлены результаты применения высокочастотного комбинированного способа отбора проб и разработанного оборудования. Показаны примеры компоновочных решений по оборудованию для опробования неподвижных и перемещаемых продуктов. Приведены примеры и алгоритмы по устранению погрешностей при определении массовой доли ценного компонента и гранулометрического состава продуктов обогащения, а также снижению случайной погрешности результата опробования. Представлены технико-экономические показатели переработки минерального сырья при переходе на комбинированный высокочастотный способ отбора проб.

Диссертационная работа содержит все необходимые разделы, включающие выбор направления решения проблемы высокочастотного комбинированного отбора проб руд и продуктов обогащения, новые научные результаты исследований, результаты

исследования по разработке эффективных технологий опробования и расчета показателей опробования и примеры использования основных технических решений в промышленности.

### **3. Новизна исследования и полученных результатов**

Научная новизна работы заключается в разработке новых научных положений теории определения и расчета погрешности опробования, включающая: - понятия и функции покускового отбора точечных проб и массового отбора точечных проб с учетом величин дисперсии и дисперсии точечных проб; - способы поперечного и продольного пересечения опробуемого потока при отборе точечных проб; - методики расчетов минимальной массы проб от перемешанных и не перемешанных массивов на основе покускового отбора проб; - нового способа высокочастотного комбинированного отбора точечных проб; - методики выявления и оценки погрешностей опробования на обогатительных фабриках по данным товарных балансов продуктов обогащения по ценным компонентам.

К новым научным результатам следует отнести:

- разработанные принципы правильного опробования и условий их применения, а также методики и алгоритмы определения параметров опробования на основе обработки результатов оперативного и товарного опробования на обогатительных фабриках;

- разработанный новый способ высокочастотного отбора точечных проб, исключающий погрешности, связанные с асимметрией распределения массовой доли ценного компонента в точечных пробах, являющийся универсальным решением при разработке технических средств для опробования твердых полезных ископаемых и продуктов их переработки.

- разработанная новая методика опробования, заключающаяся в отборе числа проб пропорционального опробуемому массиву и использовании для пульповых продуктов высокочастотный комбинированного отбора проб способом продольного пересечения с сокращением пробы до минимальной массы.

### **4. Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций работы подтверждаются удовлетворительной сходимостью теоретических и экспериментальных зависимостей показателей опробования от используемых методик отбора проб, результатами лабораторных и промышленных испытаний методик и приборов, внедрениями разработанного оборудования на промышленных предприятиях.

### **5. Научная ценность и практическая значимость диссертации**

Научная ценность диссертационной работы заключается в решении научной проблемы обоснования и развития теории опробования руд и продуктов обогащения с получением алгоритмов минимизации и предотвращения возникновения погрешностей результата опробования с применением нового способа высокочастотного комбинированного опробования.



*Практическая значимость результатов исследований* заключается в разработке методических рекомендаций для внесения изменений в действующие стандарты на опробование продуктов обогащения и разработке технологии и реализующего ее оборудования для опробования руд и продуктов обогащения, обеспечивающих минимизации и предотвращения возникновения погрешностей результатов.

Разработанные методические и технологические решения внедрены в практику выполнения НИР по совершенствованию систем опробования и балансового учета ценных компонентов на горно-обогатительных и металлургических предприятиях ОАО «Уральская горно-металлургическая компания», ПАО «ГМК «Норильский никель», ПАО «Высочайший», АО «Полиметалл», ТНК «Казхром», АО «ЕВРАЗ».

*Личный вклад автора* состоит постановка целей и задач исследований, разработке теоретических положений и математических моделей формирования выодных показателей опробования, выполнение расчетов, разработке методических и технологических рекомендаций с целью снижения погрешностей результата опробования на обогатительных фабриках и повышения достоверности учета ценных компонентов, проведение лабораторных исследований, разработке оборудования, организации и проведении промышленных испытаний, обработке и анализе результатов экспериментов и промышленных испытаний, организации изготовления разработанного оборудования, внедрении разработанного оборудования на промышленных предприятиях, оценка результатов исследований и их интерпретация, формулирование выводов и заключений.

#### **6. Рекомендации по использованию результатов диссертации**

Полученные результаты имеют важное значение для научно-технического развития технологии опробования перерабатываемых руд и получаемых продуктов на предприятиях горно-обогатительной отрасли обеспечивающего повышение достоверности оценки эффективности и контроля технологических процессов. Результаты работы так же рекомендуются к использованию в научно-исследовательских, проектных и эксплуатирующих организациях и предприятиях, разрабатывающих технологии и оборудование для опробования в горной, химической и других отраслях промышленности.

#### **7. Оценка диссертационной работы**

Диссертационная работа является завершенным научным исследованием, обладающим внутренним единством, и характеризуется четкой логической взаимосвязью теоретических положений, экспериментальных исследований и практических результатов, содержит новые научные положения и рекомендации по практическому использованию полученных результатов. Методологические пути решения поставленных задач в рамках общей проблемы обоснования и развития теории опробования руд и продуктов обогащения с получением алгоритмов минимизации и предотвращения возникновения погрешностей результата опробования с применением нового способа высокочастотного комбинированного опробования отличаются оригинальностью и свидетельствуют о глубоких познаниях автора в рассматриваемой проблеме.

Основные результаты работы опубликованы в высокорейтинговых научных изданиях, были представлены и прошли обсуждения на представительных научных

конференциях и конгрессах. Наиболее важные решения защищены патентами Российской Федерации.

Работа написана грамотным научно-техническим языком и оформлена в соответствии с ГОСТами.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации и в полной мере отражает основные положения диссертации, выводы и рекомендации.

## **8. Замечания по диссертации**

1. В работе ушли на второй план вопросы, связанные с доставкой проб, усреднением, сокращением. В этих процессах аналогичным образом может проявляться эффект возрастания вероятной систематической погрешности за счет непропорционального отбора в сокращенную пробу фракций различной крупности. Для пульповых потоков причиной вероятной систематической погрешности будет являться колебание гидродинамического режима, взмучивание осадков и непропорциональное распределение крупных, и как правило богатых металлами, фракций в отбираемые продукты.

2. Не совсем понятно, почему информативность соседних точечных проб снижается с 1,0 до 0,5 по мере уменьшения интервала времени между их отбором. Если это связано с методикой отбора проб – это проявление усреднения пробы. Однако усреднение пробы – регламентная операция и не должна приводить к снижению информативности пробы. Стохастическая составляющая погрешности измерений при правильном (регламентном) пробоотборе не должна зависеть от частоты отбора.

3. Методическая погрешность опробования, как правило, компенсируется расчетным путем по данным химического анализа контрольных проб. При этом источник методической погрешности остается не ясным. Анализ причин методической погрешности весьма важен, поскольку во многом определяется правильностью эксплуатации оборудования. Было бы полезным проведение частотного анализа методических погрешностей, результаты которого были бы использованы для диагностики работы систем опробования и анализа.

4. Для корректного обоснования эффективности высокочастотного отбора проб следовало бы привести данные о снижении погрешностей при увеличении частоты отбора при пропорциональном уменьшении массы разовой пробы, т.е. при неизменной массе общей пробы. Думается, что здесь мы будем иметь экстремальную зависимость точности анализа от частоты отбора проб.

5. При анализе методик расчета представительных проб было бы целесообразным применить в качестве параметра критерий контрастности распределения ценного компонента. Этот параметр колеблется в рудах, поступающих на переработку даже из одного месторождения. Его учет может быть использован для выбора параметров опробования, таких как масса пробы и частота отбора.

## **9. Заключение по диссертации**

Диссертационная работа Комлева А.С. на тему «Высокочастотный комбинированный отбор проб руд и продуктов обогащения» является завершенной научной квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований дано решение научной проблемы обоснования и развития теории опробования руд и продуктов обогащения с получением алгоритмов минимизации и предотвращения возникновения погрешностей результата



опробования с применением нового способа высокочастотного комбинированного опробования.

В диссертации разработаны новые научно обоснованные технические и технологические решения по развитию научно-методологических основ теории опробования руд и продуктов обогащения, что имеет важное социально-экономическое значение для развития горно-перерабатывающей промышленности и вносит значительный вклад в развитие страны.

Содержание диссертации, научные положения, основные результаты и выводы соответствуют п. 7 и 8 области исследований научной специальности 2.8.9 - Обогащение полезных ископаемых.

Диссертационная работа Комлева А.С соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждения учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора технических наук. Автор работы Комлев Алексей Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.8.9 – Обогащение полезных ископаемых.

Официальный оппонент

доктор технических наук по специальности

25.00.13 - Обогащение полезных ископаемых,

профессор, профессор по кафедре обогащения полезных ископаемых,

профессор кафедры общей и неорганической химии НИТУ МИСИС

12.05.2024

Морозов Валерий Валентинович

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (НИТУ МИСИС) 119049 Москва Ленинский проспект, 4. Тел: +7 (495) 955-00-32, адрес эл. почты: [kancela@misis.ru](mailto:kancela@misis.ru)

Я, Морозов Валерий Валентинович, даю согласие на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации, исходя из нормативных документе Минобрнауки и Высшей аттестационной комиссии РФ, в том числе их размещению в сети Интернет, на сайте ВАК, в единой информационной системе.

Подпись Морозова Валерия Валентиновича заверяю

Проректор по безопасности и общим

вопросам НИТУ МИСИС

И.М. Исаев