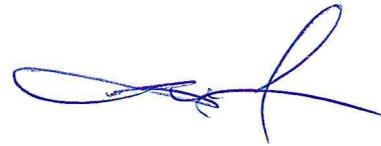


На правах рукописи



КОМЛЕВ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

**ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ ОТБОР ПРОБ  
РУД И ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ**

Специальность 2.8.9 – «Обогащение полезных ископаемых»

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Екатеринбург – 2024

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

Научный консультант –

доктор технических наук, профессор Козин Владимир Зиновьевич,  
заведующий кафедрой ОПИ ФГБОУ ВО «УГГУ»

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, профессор Морозов Валерий Валентинович,  
профессор кафедры ОПИ ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС»

- доктор технических наук Матвеев Андрей Иннокентьевич,  
главный научный сотрудник, заведующий лабораторией обогащения  
полезных ископаемых ИГДС СО РАН

- доктор технических наук Лавриненко Анатолий Афанасьевич,  
главный научный сотрудник, заведующий лабораторией комплексной  
переработки нетрадиционного минерального сырья  
ФГБУН ИПКОН РАН

Ведущая организация –

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет  
им. Г. И. Носова»

Защита диссертации состоится «13» июня 2024 г. в 13<sup>00</sup> часов на  
заседании диссертационного совета 24.2.423.02 при ФГБОУ ВО «Уральский  
государственный горный университет», 2-й учебный корпус, ауд. 2142 по адресу:  
620144, ГСП, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».

Автореферат разослан «    » \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук



Пелевин А. Е.

## **Актуальность проблемы**

Опробование минерального сырья выполняется на всех этапах его добычи, обогащения и дальнейшего использования получаемых продуктов. Операции отбора, подготовки и анализа проб минерального сырья и продуктов его обогащения регламентированы действующей нормативной документацией на опробование.

Результаты опробования характеризуются погрешностями. Случайная и систематическая погрешности изучены в теории и на практике, действие погрешностей на результат опробования предусмотрены нормативной документацией. Вероятная систематическая и методическая погрешности являются новыми погрешностями специфического характера, и до недавнего времени были изучены только в теоретических работах.

Современное развитие теория и практика опробования получили благодаря работам Р. Х. Ричардса, Г. И. Прейгерзона, М. Н. Альбова, Н. В. Барышева, К. Л. Пожарицкого, П. Л. Каллистова, Н. В. Карпенко, В. А. Чантурии, Ю. А. Кудрявцева, И. Н. Плаксина, М. Ф. Локонова, Ю. А. Ткачева, Г. О. Чечотта, Г. А. Хана, А. А. Шеина, а также ряда других исследователей. Основной вклад в развитие теории опробования внесли во второй половине XX и начале XXI веков П. Жи (Франция) и В. З. Козин (СССР – Российская Федерация).

Теоретические разработки в области опробования продуктов обогащения характеризуются разной степенью изученности отдельных элементов теории. Отсутствуют исследования в части экспериментальной оценки систематических погрешностей. Недостаточное развитие получил аналитический подход к расчету случайных погрешностей. Практика опробования, разделяемая по назначению на товарное опробование и оперативное технологическое опробование, сохраняет крайний консерватизм в части развития товарного опробования, в то же время имея существенное развитие направления оперативного технологического опробования. При этом, существующее устройство и принцип действия оборудования для отбора и сокращения проб представляют собой прямую механизацию операций ручного опробования. Формула минимальной массы пробы Ричардса-Чечотта включает в себя коэффициент  $k$ , составляющий величину от 0,05 до 31. Ни один из способов определения коэффициента  $k$  не устанавливает его зависимость от погрешности сокращения пробы. Распределения массовой доли ценного компонента в точечных пробах, отбираемых от опробуемых массивов, всегда асимметричны. Новые специфические погрешности результата опробования, обусловленные асимметричным распределением ценного компонента по опробуемому массиву, не отражены в существующей нормативной документации и стандартах на опробование. Технологическая и рабочая документация по отбору и подготовке проб продуктов обогатительных фабрик разработана на основе действующих стандартов, учитывающих только известные погрешности результата опробования. Оборудование, применяемое при опробовании продуктов обогащения, предназначено для механического выполнения операций отбора и

сокращения проб, в которых возможно значимое нарушение требований стандартов.

Нерешенные вопросы теории и практики опробования оказывают отрицательное влияние на систему контроля качества продуктов обогащения, а также снижают эффективность управления процессами обогащения руд. Решению данных вопросов посвящена диссертационная работа.

### **Объект исследований**

Способы определения и снижения величины известных погрешностей и новых специфических погрешностей результата опробования. Технологические и технические решения по опробованию продуктов обогатительных фабрик.

### **Предмет исследований**

Методология, технология и техника опробования руд и продуктов обогатительных фабрик.

### **Цель работы**

Развитие теоретических положений по количественной оценке, учету и снижению погрешностей результата опробования до уровня их практического применения в виде универсального способа опробования продуктов обогатительных фабрик с асимметричным распределением массовой доли ценного компонента.

### **Идея работы**

Применение разработанного теоретического аппарата оценки, учета и снижения погрешностей результата опробования для выполнения отбора и сокращения проб продуктов обогатительных фабрик с минимально допустимыми значениями погрешностей.

### **Задачи исследований**

1. Разработка принципиальных технологических и методических решений на основе современной теории опробования для создания стандартов нового поколения на опробование твердых полезных ископаемых и продуктов их обогащения.

2. Разработка методических и технологических решений по снижению систематических и случайных погрешностей опробования и исключению погрешностей, вызываемых асимметрией распределений ценных компонентов в точечных пробах.

3. Разработка технических решений для механизированного отбора и сокращения проб сыпучих и пульповых продуктов при снижении или исключении погрешностей результатов опробования.

### **Методы исследований**

Изучение и анализ теории опробования, нормативно-технической документации, стандартов на опробование, технической, технологической и методической документации; обследование техники и технологии опробования; математическое моделирование; выполнение лабораторных исследований; выполнение натуральных и стендовых испытаний; выполнение полупромышленных и промышленных испытаний.

## **Научные положения, выносимые на защиту**

1. Принципиальными решениями для разработки нового поколения стандартов на опробование твердых полезных ископаемых на обогатительных фабриках являются включение в них принципов правильного опробования и условий их применения, а также расчетных методов определения параметров опробования на основе обработки результатов оперативного и товарного опробования на обогатительных фабриках.

2. Технологическим решением по снижению случайных погрешностей опробования является применение высокочастотного отбора точечных проб, исключая погрешности, связанные с асимметрией распределения массовой доли ценного компонента в точечных пробах. Высокочастотный отбор точечных проб является универсальным решением при разработке технических средств для опробования твердых полезных ископаемых и продуктов их переработки.

3. Техническим решением, предельно снижающим случайные погрешности опробования, а также исключая вероятные систематические и методические погрешности опробования, для неподвижных сыпучих продуктов является новый способ опробования, заключающийся в отборе увеличенного числа проб от всего массива при его перегрузке. Аналогичным решением для пульповых продуктов является высокочастотный комбинированный отбор проб способом продольного пересечения с сокращением пробы до минимальной массы.

## **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций работы подтверждаются сходимостью теоретических и экспериментальных зависимостей, результатами лабораторных и промышленных испытаний, внедрениями разработанного оборудования на промышленных предприятиях.

## **Научная новизна результатов**

1. Фундаментальная погрешность опробования должна объединять понятия и функции покускового отбора точечных проб и массового отбора точечных проб с учетом величин покусковой дисперсии и дисперсии точечных проб.

2. Способы поперечного и продольного пересечения опробуемого потока при отборе точечных проб характеризуются сопоставимыми по величине погрешностями.

3. Объединение расчетов минимальной массы проб от перемешанных и неперемешанных массивов возможно на основе покускового отбора проб – предельного варианта величины точечной пробы, равной одному куску.

4. Переход от стандартного режима отбора точечных проб к высокочастотному комбинированному отбору точечных проб определяется величиной коэффициента вариации массовой доли в отбираемых точечных пробах. Высокочастотный отбор точечных проб создает условия для

максимального приближения процесса их отбора к параметрам покускового отбора.

5. Универсальным способом выявления и оценки погрешностей опробования на обогатительных фабриках является товарный баланс продуктов обогащения по ценным компонентам.

#### **Научная ценность**

Развитие и логическое завершение теории опробования с получением алгоритмов минимизации и предотвращения возникновения погрешностей результата опробования.

#### **Практическая значимость работы**

1. Разработка методических рекомендаций для внесения изменений в действующие стандарты на опробование продуктов обогащения.

2. Разработка технологии и реализующего ее оборудования для отбора проб в условиях минимизации и предотвращения возникновения погрешностей результата опробования.

#### **Реализация результатов работы**

1. Разработанные методические и технологические решения внедрены в практику выполнения НИР по совершенствованию систем опробования и балансового учета ценных компонентов ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», ООО «Таилс КО» и АО «Уралмеханобр». В совокупности за период с 2008 по 2023 гг. по заявленной тематике выполнено 19 НИР в интересах горно-обогатительных и металлургических предприятий ОАО «Уральская горно-металлургическая компания», ПАО «ГМК «Норильский никель», ПАО «Высочайший», АО «Полиметалл», ТНК «Казхром», АО «ЕВРАЗ».

2. Рекомендации по рациональному изменению методики и технологии опробования внедрены в практику контроля качества продуктов обогащения и товарной продукции на ведущих предприятиях ОАО «Уральская горно-металлургическая компания», ПАО «ГМК «Норильский никель», ТНК «Казхром» и АО «ЕВРАЗ».

3. Новое оборудование для отбора и сокращения проб кусковых и пульповых продуктов в количестве 120 единиц внедрено на 31 предприятии Российской Федерации и стран ближнего зарубежья.

#### **Апробация работы**

Основные положения диссертационной работы доложены на XXIX Международном конгрессе по обогащению полезных ископаемых (г. Москва, 2018 г.), Международных совещаниях «Плаксинские чтения» (г. Апатиты, 2007 г.; г. Новосибирск, 2009 г.; г. Верхняя Пышма, 2011 г.; г. Владикавказ, 2021 г.; г. Владивосток, 2022 г.), «Неделя горняка-2007» (г. Москва, 2007 г.), VI Конгрессе обогатителей стран СНГ (г. Москва, 2007 г.), Международных научно-технических конференциях «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья» (г. Екатеринбург, 2006 – 2023 гг.), I международной научно-практической конференции «Интехмет-2008» (г. Санкт-Петербург, 2008 г.), Евро-Азиатском машиностроительном форуме (г. Екатеринбург,

2009 г.), IV Международном горнопромышленном форуме (г. Екатеринбург, 2010 г.), Международных научно-практических конференциях «Рудник будущего» (г. Пермь, 2013 г., 2020 г.; г. Екатеринбург, 2022 г.), VI Международном форуме «Эффективность горнодобывающего производства – 2022» (г. Челябинск, 2022 г.), на десяти отраслевых и корпоративных форумах и совещаниях в период с 2012 по 2023 гг., а также на ряде научно-технических советов и технических совещаний горно-обогатительных комбинатов и обогатительных фабрик.

### **Публикации**

По теме диссертационной работы опубликовано 66 научных работ, в том числе 30 статей в рецензируемых научных изданиях категорий К1 и К2, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ. По теме диссертационной работы опубликована научная монография (2020 г.). На новое оборудование для отбора и сокращения проб получено два патента РФ на изобретение и один патент РФ на полезную модель.

### **Личный вклад автора**

Постановка целей и задач исследований, разработка теоретических положений и математических моделей, выполнение расчетов, разработка методических и технологических рекомендаций с целью снижения погрешностей результата опробования на обогатительных фабриках и повышения качества учета ценных компонентов; разработка устройства и конструкции оборудования, проведение лабораторных исследований, организация и проведение промышленных испытаний оборудования, обработка и анализ результатов экспериментов и промышленных испытаний, организация изготовления разработанного нового оборудования, внедрение разработанного оборудования на промышленных предприятиях; оценка результатов исследований и их интерпретация, формулирование выводов и заключений.

### **Объем и структура 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.

### **Основное содержание работы**

Во **введении** дано обоснование актуальности темы исследований, сформулированы задачи, цель и идея исследований, обозначены научная новизна и практическое значение работы, приведены сведения о методах исследований, апробации работы и публикациях автора.

В **первой главе** выполнен аналитический обзор современного состояния теории процессов опробования и их практической реализации, рассмотрены теоретические основы возникновения погрешностей результата опробования и основы их экспериментального определения, асимметрии распределения массовой доли ценного компонента в опробуемом массиве. Приведены сведения о нормативной документации и стандартах на опробование, современной теории опробования. Указаны преимущества и недостатки способов вычерпывания,

продольного и поперечного пересечения потока при отборе точечных проб. Приведены сведения о парадоксах и необъяснимых эффектах из практики опробования, не имеющих в настоящее время полного законченного объяснения. Сформулированы основные задачи исследований.

Теория опробования продуктов обогащения развивается на протяжении почти двухсот лет: первые элементы теории отбора и подготовки проб были изложены в работах Везина и Брунтонна, современное развитие теория опробования получила благодаря разработкам П. Жи и В. З. Козина.

Теоретические разработки в области опробования 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 противоречат друг другу и демонстрируют результаты расчетов, 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.

По совокупности недостаточной полноты теории и практики опробования сформулированы основные задачи исследования.

Во **второй главе** выполнен анализ причин возникновения систематической погрешности результата опробования, приведены примеры нарушения принципов правильного опробования, а также примеры систематических погрешностей определения массы и влажности и методик экспериментального определения систематической погрешности. Рассмотрен алгоритм составления независимого товарного баланса обогатительной фабрики как универсального способа оценки наличия систематической погрешности.

Разработаны и обоснованы новые принципы правильного опробования и условия их выполнения. Обозначена необходимость переработки действующих стандартов на опробование, таких, как ГОСТ 14180-80 «Руды и концентраты цветных металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги» и ISO 11648-1(2) «Statistical aspects of sampling from bulk materials – Part 1: General Principles; Part 2: Sampling of particular materials».

Известные способы исключения систематических погрешностей результата опробования характеризуются существенными недостатками. Экспериментальное определение причины появления и последующее исключение систематической погрешности требует многократного выполнения опробования с изменением его параметров или с изменением конструкции оборудования. Многократное повторение операции опробования обусловлено совместным действием систематической и случайной погрешностей и необходимостью снижения случайной погрешности для надежного обнаружения систематической погрешности.

Отечественные и зарубежные стандарты не соответствуют современным положениям теории опробования.

Практика ручного и механизированного отбора и подготовки проб подтверждает многочисленные *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 при их отборе, подготовке, транспортировке и хранении; использование инструментов и оборудования, ограничивающих возможность полного пересечения потока как по ширине, так и по глубине; наличие узлов и деталей оборудования, ограничивающих возможность полного пересечения потока как по ширине, так и по глубине; перемещение пробоотсекающего инструмента через поток с изменением скорости или остановками.

Нарушения технологии опробования приводят к значимым систематическим погрешностям определения массовой доли, массы и влажности. Установлено, что некорректное расположение пробоотсекателя, приводящее к неполному пересечению опробуемого потока, приводит к систематическому завышению массовой доли меди в медно-цинковой руде на 17 % относительных. Определяемая масса хромовых концентратов при поставке потребителю может изменяться в пределах 3 % относительных. Влажность крупнокусковых продуктов за счет действия систематических погрешностей опробования и взвешивания может быть определена в пределах от 0,05 до 7,00 % при истинной влажности в пределах 2 – 3 %.

Основой технологии опробования являются принципы правильного опробования, позволяющие исключить систематическую погрешность.

*Первый принцип правильного опробования*:

При отборе точечных проб не отдавать предпочтение одним кускам продукта перед другими кусками. Потери и засорения точечных проб недопустимы.

*Условия выполнения первого принципа*:

1. Вектор скорости пробоотсекающего устройства должен быть перпендикулярен вектору скорости пересекаемого им опробуемого потока, либо составлять с ним угол

$$\alpha = \arctg(v_k/v_n) \quad (2.1)$$

где  $\alpha$  – угол внедрения пробоотсекающего устройства в опробуемый поток;  $v_k$  – скорость перемещения пробоотсекающего устройства;  $v_n$  – скорость потока в точке его пересечения пробоотсекающим устройством.

2. Скорость пересечения потока пробоотсекающим устройством должна быть постоянна.

3. Объем пробоотсекающего устройства должен превышать максимальный объем точечной пробы.

4. Длина отсекающей щели пробоотсекающего устройства должна превышать ширину (глубину) опробуемого потока.

5. Глубина пробоотсекающего устройства должна быть достаточной для предотвращения выброса пробы.

6. Для автоматизированных систем с последовательным отбором и сокращением пробы необходимо обеспечить синхронизацию срабатывания каждой единицы оборудования по мере поступления в них пробы.

*Второй принцип правильного опробования:*

Отношение массы точечной пробы к массе элемента опробуемого массива должно быть постоянным. Распределение точечных проб должно соответствовать распределению центров масс элементов опробуемого массива при недопустимости выхода за границы опробуемого массива.

*Условия выполнения второго принципа:*

1. Массы точечных проб выбираются в зависимости от используемой технологии их отбора.

2. Точки отбора проб должны располагаться в центрах тяжести элементов опробуемого массива.

3. Сокращение точечных проб отдельно друг от друга равнозначно сокращению объединенной пробы.

Выполнение принципов правильного опробования обеспечивает отсутствие в результатах опробования систематической погрешности:

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} \approx 0. \quad (2.2)$$

Инструментом для выявления и оценки систематических погрешностей опробования на обогатительных фабриках является *товарный баланс продуктов обогащения по ценным компонентам*. При помощи товарного баланса выполняется оценка погрешностей определения массовой доли ценных компонентов, определения влажности продуктов, а также определения массы продуктов прямым и косвенным взвешиванием.

Товарный баланс обогатительной фабрики следует составлять в форме отдельного документа, содержащего сведения о движении материальных потоков исходной руды и продуктов обогащения. Товарный баланс составляется только по измеряемым на обогатительной фабрике показателям. Анализ невязки товарного баланса обогатительной фабрики позволяет делать выводы о наличии или отсутствии систематической погрешности в технологии опробования.

Формула абсолютной невязки для обогатительной фабрики:

$$\Delta_k = K_{\beta} + K_{\vartheta} + K_{\text{умп}} + \sum_i K_i \alpha_{\text{кон}} + \sum_i K_i \beta_{\text{кон}} - K_{\alpha} - \sum_i K_i \alpha_{\text{нач}} - \sum_i K_i \beta_{\text{нач}}. \quad (2.3)$$

Формула относительной невязки:

$$\Delta = \frac{\Delta_K}{K_{\alpha} + \sum_i K_{i\alpha\text{нач}} - \sum_i K_{i\alpha\text{кон}}} \cdot 100. \quad (2.4)$$

Формула относительной случайной погрешности невязки:

$$\Delta_{\text{сл}}^2 = P_{K_{\alpha}}^2 + \varepsilon_{\beta}^2 P_{K_{\beta}}^2 + \varepsilon_{\vartheta}^2 P_{K_{\vartheta}}^2 + \varepsilon_{\text{умп}}^2 P_{K_{\text{умп}}}^2 + 2 \sum_i r_i^2 P_{K_i}^2. \quad (2.5)$$

Предлагаемые действия по результатам составления товарного баланса:

- если фактическая невязка находится в допустимых пределах случайной невязки, нет оснований выполнять мероприятия по улучшению опробования;
- при превышении фактической невязки по абсолютной величине отрицательной границы допустимой случайной невязки, либо при постоянстве отрицательного знака фактической невязки – поиск и устранение неучтенных механических потерь, либо отсутствия учета какого-либо компонента в каком-либо выходящем продукте, а также выполнение мероприятий, направленных на устранение новых специфических погрешностей;
- при превышении фактической невязки положительной границы допустимой случайной, либо при постоянстве положительного знака фактической невязки – выполнение мероприятий, направленных на поиск и устранение систематических и новых специфических погрешностей.

Обосновано увеличение числа точечных проб с целью их отбора от элементов опробуемого массива, которые являются однородными.

В **третьей главе** выполнен анализ причин возникновения случайных погрешностей результата 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.

Недостаток существующей методики заключается в том, что коэффициенты вариации, полученные за относительно малый контрольный период, в значительной степени предопределяются случайными погрешностями опробования, не отражая при этом существующей вариативности массовой доли ценного компонента.

Общая формула относительной случайной погрешности отбора проб  $P_{\alpha}$ :

$$P_{\alpha} = \frac{2V}{\sqrt{N_T}}, \quad (3.1)$$

где  $V$  – коэффициент вариации массовой доли в опробуемом массиве;  $N_T$  – число точечных проб.

Для определения коэффициента вариации по действующим стандартам от партии (за смену работы обогатительной фабрики) следует отобрать 50 точечных проб. Стандарты определяют число точечных проб и границы их отбора, при этом не учитывая корреляцию точечных проб. Типичный вид

автокорреляционной функции массовой доли ценного компонента в потоке руды и ее значения для различных интервалов времени  $\tau$  представлены на рисунке 3.1.

*Информативность точечных проб*, отобранных с интервалом около 15 минут (50 точечных проб за 720 минут), будет снижена. Две точечные пробы, отобранные одна за другой на интервале времени корреляции, по информативности не равны двум точечным пробам.

Значение автокорреляционной функции при  $\tau_0 = 0$  равно  $S_\tau^2$ , то есть – обычной дисперсии точечных проб, отбираемых способом поперечного пересечения. Если же отбор или анализ выполняются в течение определенного интервала времени  $\tau_a$ , автокорреляционная функция будет равна  $R^2(\tau_a) < S_\tau^2$ . На рисунке указано также время корреляции  $\tau_k$ , когда величину  $R^2(\tau_k)$  можно считать незначимой.

Точечная проба, отобранная через короткий промежуток времени после предыдущей, будет содержать мало новой информации об изменении массовой доли. Таким образом, эта точечная проба будет неинформативной. Информативность точечной пробы – долю новой информации в пробе  $p$  – отбираемой через промежуток времени  $\tau_0$ , меньший времени корреляции  $\tau_k$ , по сравнению с предыдущей точечной пробой можно оценить по формуле

$$p = 1 - \frac{R^2(\tau_0)}{R^2(0)}. \quad (3.2)$$

Информативность одной точечной пробы при  $\tau_0 < \tau_k$  составит

$$p = \frac{\tau_0}{\tau_k}. \quad (3.3)$$

Если на интервале  $0 - \tau_k$  времени корреляции отбирается через равные интервалы времени  $n$  точечных проб, то средняя информативность этих проб будет равна

$$\bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i. \quad (3.4)$$

Для расчета числа точечных проб для установленного контрольного периода  $T$  используется формула

$$N_T = \frac{S_T^2}{S_{\text{доп}}^2}, \quad (3.5)$$

где  $S_\tau^2$  – дисперсия точечных проб, найденная при отборе проб способом поперечного пересечения (при  $\tau_a = 0$   $R^2(0) = S_\tau^2$ ), %<sup>2</sup>;  $S_{\text{доп}}^2$  – дисперсия допустимой случайной погрешности объединенной пробы, %<sup>2</sup>.

На рисунке 3.2 дана зависимость средней информативности  $\bar{p}$  от числа точечных проб  $n$ , отбираемых на интервале  $0 - \tau_k$ . Зависимость в пределе стремится к значению  $\bar{p}$ , равному 0,5. Это означает, что при отборе достаточно большого числа точечных проб их средняя информативность снижается в два раза.

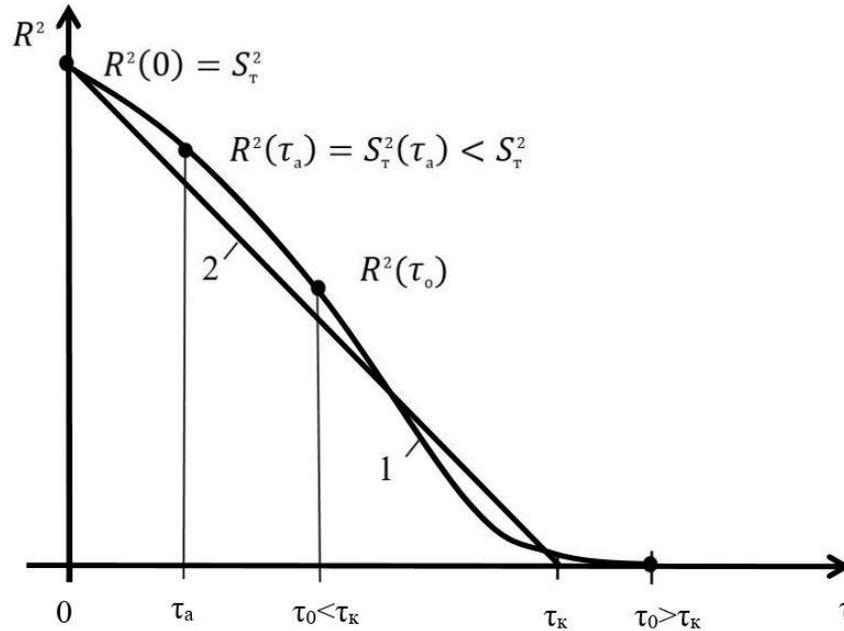


Рисунок 3.1 – Автокорреляционная функция массовой доли ценного компонента в потоке руды (1) и ее аппроксимация прямой линией (2)

Изменение условий опробования, состоящее в переходе к отбору или анализу проб в течение времени  $\tau_a$ , а также в увеличении числа точечных проб  $n$  (при  $n > 8$ ), отбираемых (анализируемых) на интервале времени корреляции  $\tau_k$ , приводит к необходимости применения новой формулы расчета числа точечных проб:

$$N_{\Gamma} = \frac{S_{\Gamma}^2(\tau_a)}{\bar{p} \cdot S_{\text{доп}}^2} \approx \frac{2S_{\Gamma}^2(\tau_a)}{S_{\text{доп}}^2}. \quad (3.6)$$

Отличие формулы от используемой в действующих стандартах формулы (3.5) заключается в использовании дисперсии точечных проб, полученной с учетом интервала времени отбора или анализа  $\tau_a$ , и средней информативности точечных проб  $\bar{p}$ . В результате отобранные за смену 50 точечных проб по информативности будут равны 6 – 7 некоррелированным пробам. Вследствие фактического малого числа информативных точечных проб коэффициент вариации массовой доли в точечных пробах и случайная погрешность результата опробования за смену имеют сопоставимую величину (таблица 3.1). В таблице приведены результаты определения коэффициентов вариации по ГОСТ 14180-80 и результаты расчета случайных погрешностей подготовки и анализа точечных проб, показывающие, что методика по стандарту не позволяет получить надежные коэффициенты вариации.

В таких условиях коэффициент вариации может быть установлен только за большой контрольный период по результатам текущего опробования на обогатительной фабрике. Изменение величины коэффициента вариации с увеличением контрольного периода показано в таблице 3.2 и на рисунке 3.3.

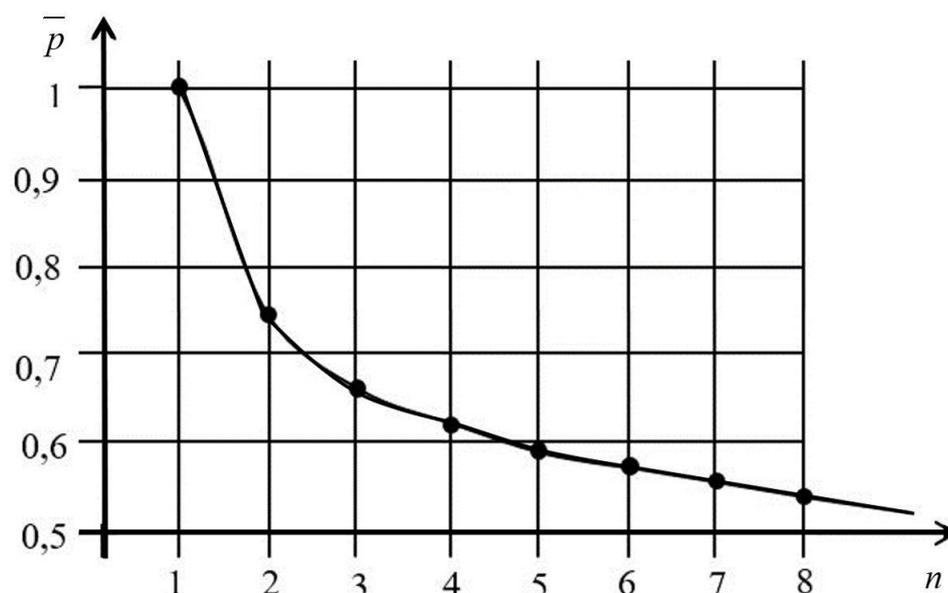


Рисунок 3.2 – Зависимость средней информативности точечных проб от числа проб на интервале времени корреляции

Таблица 3.1 – Коэффициенты вариации по ГОСТ 14180-80 и по результатам дубликатного опробования

Металл	Массовая доля $\alpha$ , %	Коэффициенты вариации, %	
		Экспериментальные по ГОСТ 14180-80	Погрешности подготовки и анализа точечных проб, %
Никель	0,560	3,7 – 6,7	4,46 – 5,00
Медь	0,240	3,3 – 6,9	5,00 – 7,10
Кобальт	0,023	4,9 – 7,3	13,00

Таблица 3.2 – Изменение коэффициента вариации с увеличением контрольного периода

Металл	Средняя массовая доля за месяц, %	Коэффициенты вариации				
		30 суток	10 суток	5 суток	1 сутки	0,5 суток
Медь	1,63	33,1	28,2	24,5	18,2	15,3
Цинк	4,19	19,6	14,8	12,2	7,5	5,8

*Методика определения коэффициента вариации:*

1. Определить величину  $V$  для большого контрольного периода.
2. Построить зависимость  $V = f(T)$ , при  $T = 0$  равную погрешности опробования  $V_{оп} = V_{под, ан}$ .

3. Построить зависимость по формуле  $V_{п}^2 = V_{эксп}^2 - V_{под, ан}^2$ .

4. Для смены (партии) определить сменный коэффициент вариации по зависимости  $V_{п}$ .

На обогатительных фабриках величина  $\tau_0$  обычно назначается исходя из технических возможностей применяемого оборудования. Так, при ручном отборе проб  $\tau_0 = 30$  минут, при использовании анализаторов AP-31н или

«Курьер»  $\tau_0 = 15$  минут, при использовании погружных датчиков  $\tau_0 < 5$  мин и в пределе  $\tau_0 = \tau_a$ . Тогда основное назначение формулы (3.6) будет состоять в расчете фактической погрешности отбора объединенной пробы

$$S_{\alpha}^2 = \frac{2S_T^2(\tau_a)}{N_T} \quad (3.7)$$

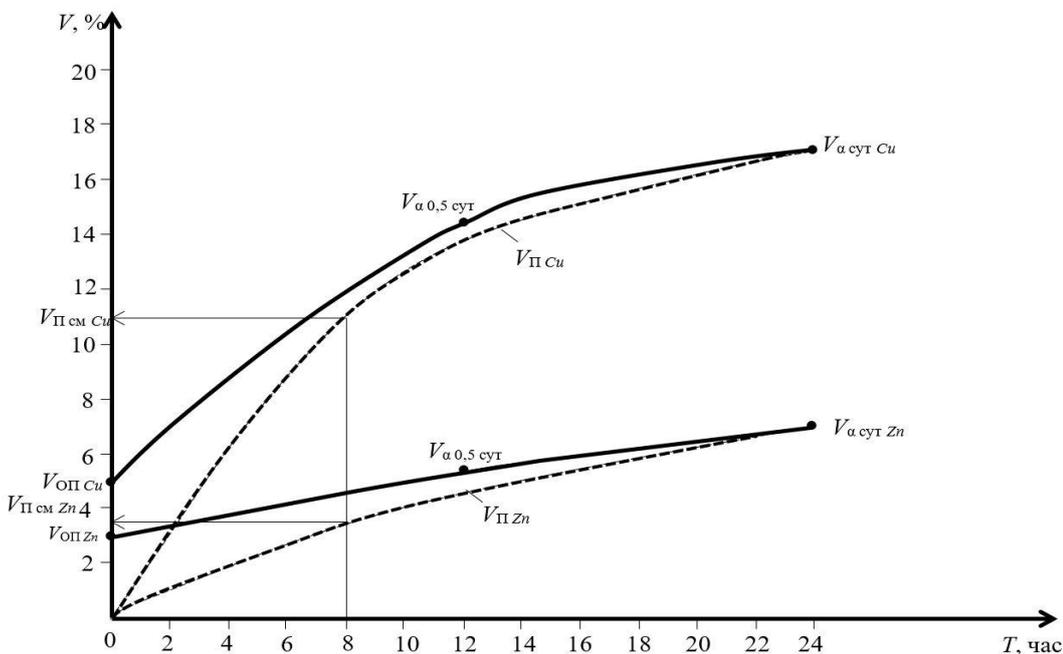


Рисунок 3.3 – К объяснению методики определения коэффициента вариации массовой доли для смены (партии)

При механизированном отборе точечных проб способом поперечного пересечения используются короткие промежутки времени между отбором соседних точечных проб, то и погрешность отбора объединенной пробы также следует находить с учетом снижения их информативности по формуле

$$S_{\alpha}^2 = \frac{2S_T^2}{N_T} \quad (3.8)$$

Экспериментальное определение случайных погрешностей опробования и анализа проб на обогатительных фабриках по ГОСТ 14180-80 не может дать правильные результаты в связи с малыми интервалами времени между отбором точечных проб, формирующих параллельные пробы. Практическое использование размахов дубликатных определений массовой доли при оценке случайных погрешностей опробования по небольшому числу дубликатных анализов в соответствии с ГОСТ 14180-80 приводит к большим случайным погрешностям. Основной причиной погрешностей дубликатного опробования является малая вероятность появления больших размахов, в связи с чем при реальном числе дубликатных анализов (по стандарту 10) экспериментально получаемые оценки дисперсий оказываются заниженными на 20 % и дополнительно характеризуются относительными случайными погрешностями в диапазоне от плюс 70 до минус 40 %. Сдвиг соседних точечных проб на время корреляции приводит к альтернативной

схеме формирования параллельных проб в течение суток. Разница по величине массовой доли меди и цинка в соседних двухчасовых пробах за сутки составляет не более 0,44 и 0,43 % соответственно. При сдвиге сравниваемых проб на период более времени корреляции разница составила 0,85 и 0,84 % соответственно.

Наиболее рациональной схемой определения случайных погрешностей является расчет погрешностей анализа по данным анализов параллельных навесок. Расчет погрешности подготовки пробы следует выполнять по теоретической формуле, описывающей конкретную схему подготовки, а погрешность отбора проб находить по дисперсии результатов опробования за смену, вычитая из нее дисперсию подготовки проб и половину дисперсии анализа:

$$S_{\text{ан}} = \frac{\sum_i \sum_j \Delta \alpha_{\text{ан}ji}}{24 \cdot 1,13}; \quad (3.9)$$

$$S_{\text{под+ан}} = \frac{\sum_j \Delta \alpha_{\text{п}j}}{12 \cdot 1,13}; \quad (3.10)$$

$$S_{\text{под}} = \sqrt{S_{\text{под+ан}}^2 - \frac{1}{2} S_{\text{ан}}^2}; \quad (3.11)$$

$$S_{\text{опр}}^2 = \frac{\sum_j (\alpha_j - \bar{\alpha})^2}{12 - 1}; \quad (3.12)$$

$$S_{\text{от}} = \sqrt{S_{\text{опр}}^2 - \frac{1}{2} S_{\text{под+ан}}^2}. \quad (3.13)$$

В практике опробования существует устоявшееся мнение, что значительная доля случайной погрешности опробования формируется за счет погрешности анализа, а погрешности отбора и подготовки проб являются минимальными. Предложенная интерпретация методики экспериментального определения случайных погрешностей опробования изменяет указанное мнение: доля случайной погрешности отбора и подготовки проб для медно-никелевых руд составляет до 80 % по никелю и до 75 % по меди, те же результаты для медно-цинковых руд составили до 97 % по меди и до 94 % по цинку.

Формула минимальной массы пробы Ричардса-Чечотта включает в себя коэффициент  $k$ , определяемый в различных источниках большим количеством способов и составляющий величину от 0,05 до 31. Ни один из способов определения коэффициента  $k$  не устанавливает его зависимость от погрешности сокращения пробы, выполняемого при доведении ее до минимальной массы. Для получения значений коэффициента  $k$  следует учитывать состояние пробы в условиях сокращения:

$$k = \frac{f \cdot \rho_m \beta_m d_{\text{max}} \cdot 10^{-5}}{P_{\text{доп}}^2 \cdot \alpha}. \quad (3.14)$$

Коэффициент  $k$  зависит от размеров вкраплений ( $d_{3 \text{ max}}$ ), массовой доли ( $\alpha$ ), но по большей части – от квадрата относительной допустимой погрешности сокращения ( $P_{\text{доп}}$ ). Для руд величины  $f$ ,  $\rho_m$ ,  $\beta_m$  обычно известны. Рассчитаны значения

коэффициента  $k$  в формуле  $q = kd^2$  для медных и золотых руд при  $P_{\text{доп}} = 1\%$  (таблицы 3.3 и 3.4).

*Из результатов расчета следует:*

1. Изменение коэффициента  $k$  возможно в гораздо больших пределах, чем это предусмотрено в стандартах.

2. Принятый в современных условиях рабочий диапазон выбора величины коэффициента  $k$  соответствует узким интервалам массовых долей и вкрапленностей минеральных продуктов.

3. Рекомендуемое для золотых руд значение  $k = 1$  применимо только для относительно богатых (более 10 г/т) и только мелкокрапленных по золоту руд.

4. Рекомендуемое для руд цветных металлов значение  $k = 0,06 - 0,20$  применимо только для некоторых руд (не менее 3% по массовой доле металлов).

Таблица 3.3 – Величина коэффициента  $k$  для медных руд

Размер вкраплений $d_{z \max}$ , мм	Массовая доля меди, %			
	0,5	1,0	2,0	5,0
0,1	0,12	0,06	0,03	0,012
0,5	0,60	0,30	0,15	0,06
1,0	1,20	0,60	0,30	0,12

Таблица 3.4 – Величина коэффициента  $k$  для золотых руд

Размер вкраплений $d_{z \max}$ , мм	Массовая доля золота, г/т			
	1,0	2,0	5,0	10,0
0,1	9,0	4,5	1,8	0,9
0,5	45,0	22,5	9,0	4,5
1,0	90,0	45,0	18,0	9,0

В теории опробования за авторством П. Жи существует *два варианта расчета массы пробы*: расчет массы пробы, отбираемой от перемешанных массивов (основан на фундаментальной погрешности опробования FSE (Fundamental Sampling Error); расчет массы пробы от неперемешанных массивов (основан на коэффициенте вариации (coefficient of variation), вычисляемом экспериментально).

Варианты расчета массы пробы не имеют логического и математического единства, результаты расчета по разным вариантам значительно отличаются друг от друга. В результате теория оказывается разделенной на отдельные направления: для перемешанных массивов – многочисленные варианты расчета величины  $k$  в формуле  $q_c = k \cdot q_t$ ; для неперемешанных массивов – многочисленные варианты определения величины  $V$  в формуле  $q_d = q_t \cdot \frac{4V^2}{P_{\text{доп}}^2}$ .

Объединение расчетов масс проб от перемешанных и неперемешанных массивов возможно на основе отбора точечных проб теоретической предельной величины, составляющей один кусок. Такой отбор проб получил название *покускового отбора*. В этом случае масса пробы для однородного массива  $q_c$

$$q_c = q_k \cdot \frac{S_k^2}{S_{\text{доп}}^2} \quad (3.15)$$

и для неоднородного массива  $q_d$  совпадают:

$$q_d = q_T \cdot \frac{S_T^2}{S_{\text{доп}}^2} = q_K \cdot \frac{S_K^2}{S_{\text{доп}}^2}. \quad (3.16)$$

*Коэффициенты вариации массовой доли* для однородного и неоднородного массивов равны между собой и равны покусковому коэффициенту вариации:

$$V_c = V_d = V_k \quad (3.17)$$

Равенство коэффициентов вариации – условие математической связи формул минимальной массы проб для перемешанных и неперемешанных массивов.

*Масса точечной пробы* может быть любой – сколь угодно малой и сколь угодно большой. Она выбирается в зависимости от характеристик используемого инструмента (пробоотбирателя) или предопределяется условиями прямого измерения массовой доли аналитическим прибором.

*Минимальная масса объединенной пробы* является функцией массы точечных проб и меняется с изменением массы точечной пробы  $q_T$ . Масса объединенной пробы обычно превышает необходимую массу и первой операцией подготовки пробы может быть ее сокращение.

Минимальная масса объединенной пробы:

$$q = q_T \cdot N_T = q_T \cdot \frac{S_\alpha^2}{S_{\text{доп}}^2}, \quad (3.18)$$

где  $N_T$  – число точечных проб.

После подставления величины  $N_T$ , при условии, что  $S_\alpha^2 = S_{\text{доп}}^2$ , получается формула

$$q = q_T \cdot \frac{\left( S_T^2 + \frac{S_K^2 - S_T^2}{n_T} \right)}{S_{\text{доп}}^2}. \quad (3.19)$$

Масса куска  $q_K = q_T / n_T$ . Тогда

$$q = q_K \cdot \frac{S_K^2}{S_{\text{доп}}^2} + (q_T - q_K) \cdot \frac{S_T^2}{S_{\text{доп}}^2}. \quad (3.20)$$

Первое слагаемое формулы (3.20) соответствует массе пробы при учете только покусковой дисперсии. Такая масса может быть получена в условиях тщательного перемешивания опробуемого массива (частный случай) и может считаться опорной ( $q_0$ ).

Второе слагаемое соответствует массе пробы при дополнительном учете различия точечных проб (общий случай), и зависит как от массы точечной пробы  $q_T$ , так и от дисперсии точечных проб  $S_T^2$  (приращение массы  $\Delta q$ ). Следовательно, минимальная масса объединенной пробы будет составлять

$$q = q_0 + \Delta q. \quad (3.21)$$

При отборе точечных проб, содержащих более одного куска, минимальная масса, по сравнению с опорной, увеличивается на величину  $\Delta q$ . Это увеличение зависит от массы точечной пробы  $q_T$  и дисперсии точечных проб  $S_T^2$ :

$$\Delta q = q_T \cdot \frac{S_T^2}{S_{\text{доп}}^2}. \quad (3.22)$$

Минимальная масса пробы при дискретном отборе  $q_0$  ( $q_T = q_k$ ) предопределяется покусковой дисперсией, допустимой погрешностью и числом кусков, отбираемых в пробу. В случае, если в точечную пробу может быть отобрана часть куска ( $\Delta q_k$ ):

$$q = \frac{S_k^2}{\alpha_{\text{доп}}^2} \Delta q_k = N_T \cdot \Delta q_k = \Delta q_0. \quad (3.23)$$

Отсюда следует, что минимальная масса пробы может быть меньше  $q_0$ , и при  $\Delta q_k \ll q_k$  быть достаточно малой, в том числе равной навеске для анализа.

Снижение крупности кусков, отбираемых в точечные пробы, является эффективным способом снижения минимальных масс проб и уменьшения фундаментальной погрешности опробования. Такой способ используется в анализаторах массовой доли в потоке пульпы или в сыпучем продукте на конвейере, так как анализируется небольшая часть реального куска, что эквивалентно снижению крупности пробы.

В связи с технической сложностью реализации покускового отбора на практике целесообразно выполнять отбор точечных проб с повышенной частотой, отбирая в пробу большое количество кусков. Такой отбор проб предложено назвать *высокочастотным*. Высокочастотный отбор точечных проб является практической реализацией покускового отбора проб и практическим решением проблемы несовместимости расчетов минимальной массы проб.

При покусковом отборе число точечных проб от неоднородного массива будет большим. Пример для медной руды ( $\alpha = 2\%$ ,  $V_k = 480\%$ ,  $P_{\text{доп}} = 1\%$ ) с учетом информативности проб 0,5:

$$N_T = \frac{8 \cdot V^2}{P^2} = \frac{8 \cdot 480^2}{1^2} \approx 2 \text{ млн.}$$

Коэффициенты вариации массовой доли в точечных пробах для партий руд цветных металлов на обогатительных фабриках находятся в пределах от 10 до 25%. Для партий концентратов цветных металлов коэффициенты вариации составляют менее 10%.

Допустимые относительные случайные погрешности отбора проб согласно ГОСТ 14180-80 для руд принимаются равными 1%, а для концентратов 0,5%. Для повышения качества опробования допустимую случайную погрешность отбора проб для руд возможно принять равной 0,5%. Следовательно, максимальное число точечных проб будет получено для точки отбора проб от руды при коэффициенте вариации 25% и информативности проб 0,5:

$$N_T = \frac{8 \cdot V^2}{P^2} = \frac{8 \cdot 25^2}{0,5^2} = 20 \text{ 000.}$$

Для концентратов число проб при коэффициенте вариации массовой доли 5 % составит 800.

Отбор за контрольный период 20 000 точечных проб является универсальным для любого продукта на обогатительной фабрике. В этом случае возможно исключить экспериментальные работы по определению коэффициентов вариации и определению допустимой погрешности отбора проб. Использование высокочастотного отбора проб исключает необходимость расчета числа точечных проб.

В четвертой главе выполнен анализ асимметрии распределения массовой доли ценного компонента в точечных пробах, ее экспериментальной оценки и необходимости учета в стандартах на опробование. Изучены теоретические основы возникновения новых специфических погрешностей: *вероятной систематической погрешности результата опробования* (ВСП) и *методической погрешности результата опробования*. Рассмотрены примеры обнаружения и количественного определения ВСП. Изучены теоретические основы возникновения методической погрешности результата опробования, рассмотрены примеры обнаружения и количественного определения методической погрешности. Предложены и обоснованы механизмы устранения ВСП и методической погрешности.

В практике опробования встречаются *необъяснимые результаты и ситуации*: различие результатов опробования одной партии гравитационного золотого концентрата – 540, 1553, 1010 и 829 г/г; различие массы металла по результатам опробования и по результатам переработки 9 кг и 11 кг золота соответственно; различное качество концентрата по результатам технологического и товарного опробования – качество цинкового концентрата 40 % и 38 % соответственно; положительные невязки товарного баланса разной величины при составлении баланса по одним и тем же продуктам + 4 % и + 8 % соответственно.

Такие результаты не имеют объяснения на основе влияния систематических и случайных погрешностей, но могут быть объяснены на основе влияния на результат опробования асимметрии распределений массовой доли в точечных пробах.

*Распределения массовой доли ценного компонента в точечных пробах, отбираемых от опробуемых массивов, асимметричны.* Асимметрия распределения массовой доли тем больше, чем меньше масса точечной пробы и чем беднее (или богаче) опробуемый продукт. Бедные продукты (руда, хвосты) характеризуются правосторонней асимметрией, богатые продукты (концентраты) – левосторонней асимметрией. На рисунке 4.1 приведены гистограммы массовой доли меди в руде (*а*) и хвостах (*б*) на медно-цинковой обогатительной фабрике с ярко выраженной правосторонней асимметрией, а также гистограммы массовой доли меди в медном концентрате (*в*) с левосторонней асимметрией и массовой доли меди (примесный компонент) в цинковом концентрате (*г*) с правосторонней асимметрией.

Распределения массовой доли ценного компонента в точечных пробах для конкретного опробуемого массива меняются с изменением масс точечных проб, поэтому для одного и того же массива могут быть получены разные распределения массовой доли. Единственной стабильной формой распределения массовой доли ценного компонента является покусковое распределение для раскрытого материала. Такое распределение является основной фундаментальной характеристикой любого

опробуемого массива. Фундаментальной числовой характеристикой опробуемого массива является покусковая дисперсия. Покусковая дисперсия для продуктов, представленных раскрытыми зернами минерала и породы,  $S_K^2$  получена аналитическим путем и может быть найдена по четырем характеристикам руды:  $\rho_M$  и  $\rho_{\Pi}$  – плотности минерала и породы,  $\beta_M$  и  $\alpha$  – массовые доли определяемого компонента в минерале и в руде:

$$S_K^2 = \frac{\rho_M}{\rho_{\Pi}} \alpha (\beta_M - \alpha). \quad (4.1)$$

Для руд и хвостов (бедных продуктов, для которых  $\alpha < 0,15\beta_M$ ) применима форма определения величины  $S_K^2$ :

$$S_K^2 = \frac{\rho_M}{\rho_{\Pi}} \alpha \beta_M. \quad (4.2)$$

Покусковая дисперсия для продуктов, содержащих сростки (как правило, руда до измельчения), определяется по формуле

$$S_{K\text{ ср}}^2 = S_K^2 \left( \frac{d_3}{d} \right)^{3-b}. \quad (4.3)$$

где  $d_3$  – размер зерен минерала;  $d$  – размер кусков опробуемого массива, при этом  $d > d_3$ ;  $b$  – коэффициент, характеризующий строение сростков (для руд цветных металлов  $b = 1,5$ ).

Для раскрытых продуктов экспериментально показано совпадение экспериментальных распределений с теоретическими, рассчитанными по формуле распределения Пуассона. Для сростков предложена экспериментальная методика определения величины  $\bar{d}_3$  и  $b$ . Для асбестовой руды, имеющей слоистую текстуру, получены значения  $\bar{d}_3 = 0,43$  мм и  $b = 2,36$ .

Попадание высокого значения массовой доли (т. н. «всплеска») в точечную пробу приводит к появлению *ураганной пробы* и завышению массовой доли ценного компонента. Отсутствие попадания всплеска в точечную пробу приводит к занижению массовой доли ценного компонента. Такие изменения массовой доли приводят к возникновению погрешности нового типа – *вероятной систематической погрешности* (ВСП). Погрешность систематическая, так как имеет постоянный знак. Погрешность вероятная, поскольку ее появление носит вероятностный характер.

Асимметричные распределения массовой доли характерны тем, что наряду с основной массой проб, близких к среднему значению по массовой доле ценного компонента, на бедных продуктах должны появляться отдельные пробы с высоким значением массовой доли (выше до десяти раз). При малом числе точечных проб такие богатые пробы могут не появиться в течение смены. В итоге средний результат за смену окажется заниженным. Для богатых продуктов возникает противоположная картина – средний результат за смену оказывается завышенным.

Величина ВСП может быть значима настолько, что оказывает существенное влияние на величину невязки товарного баланса. Это влияние приводит к появлению на обогатительных фабриках скрытых излишков и потерь ценных компонентов. Так, при величине ВСП результата опробования исходной

руды на медь минус 8,60 % относительных скрытые излишки меди составили до 80 тонн меди в месяц, а по цинку при величине вероятной систематической погрешности минус 4,26 % относительных – до 100 тонн цинка в месяц. Отдельные случаи действия ВСП на результаты опробования золотосодержащих продуктов показывают, что величина ВСП может составлять 100 %. Это означает, что при наличии золота в опробуемом продукте в самой пробе золото может быть не обнаружено.

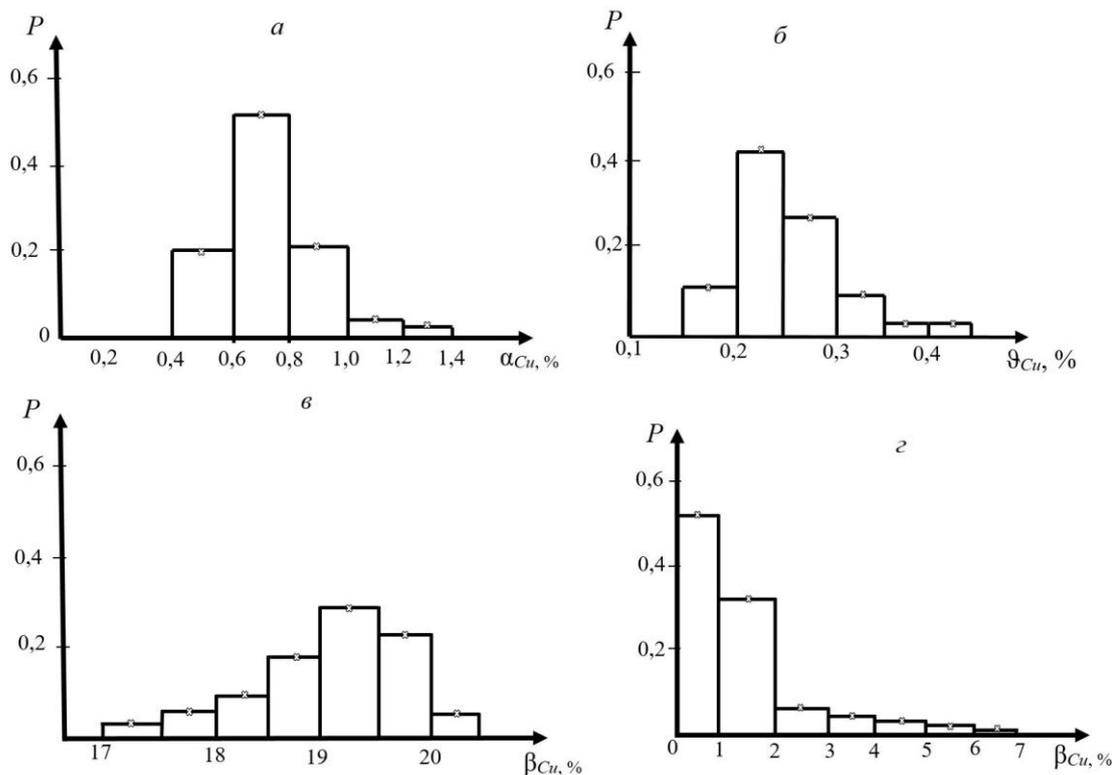


Рисунок 4.1 – Гистограммы распределения массовой доли меди в руде, хвостах, медном и цинковом концентратах:  
*а* – для меди в руде; *б* – для меди в хвостах; *в* – для меди в медном концентрате; *г* – для меди в цинковом концентрате

Строгое и полное соблюдение требований стандартов на опробование не исключает влияния ВСП на результат опробования.

Определены условия достоверного опробования, исключающие появление ВСП и определяемые на основании текущих результатов опробования действующих обогатительных фабрик.

Пусть имеется контрольный период опробования  $T$ , в течение которого отбирается  $N$  точечных проб (рисунок 4.2). Интервал отбора точечных проб  $\Delta t = T / N$ . В течение контрольного периода возникает  $n_B$  всплесков. Продолжительность всплеска  $\Delta \tau_B$ , амплитуда  $\Delta \alpha_B$ ,  $\alpha_H$  – массовая доля за контрольный период без учета ураганных проб.

Средняя массовая доля за контрольный период составит:

$$\bar{\alpha} = \alpha_H + \Delta \alpha_B \cdot \frac{n_B \cdot \Delta \tau_B}{N \cdot \Delta t} . \quad (4.4)$$

Так как при опробовании не все всплески попадут в точечные пробы, а попадут только  $n_o$  всплесков, результат анализа точечной пробы с попавшим в нее всплеском  $\alpha_H + \Delta\alpha_B$  будет распространен на интервал  $\Delta t$ . На рисунке точечная проба со всплеском обозначена индексом «5п». Расчетная массовая доля с учетом попавших в пробу всплесков за контрольный период  $T$  составит:

$$\alpha_p = \alpha_H + \Delta\alpha_B \cdot \frac{n_o}{N}. \quad (4.5)$$

Отклонение  $\alpha_p$  от среднего истинного значения будет найдено по формуле:

$$\Delta\alpha = \alpha_p - \bar{\alpha} = \Delta\alpha_B \cdot \left( \frac{n_o}{N} - \frac{n_B \cdot \Delta\tau_B}{N \cdot \Delta t} \right). \quad (4.6)$$

Если ни один из всплесков не попадет в точечные пробы ( $n_o = 0$ ), то расчетная массовая доля  $\alpha_p$  окажется занижена на величину

$$\Delta\alpha = -\Delta\alpha_B \cdot \frac{n_B \cdot \Delta\tau_B}{N \cdot \Delta t}. \quad (4.7)$$

С изменением  $n_o$  от 0 до  $n_B$  величина  $\Delta\alpha$  будет изменяться в соответствии с формулой (4.4). Неучтенный пробой всплеск за короткий контрольный период ( $n_B = 1$  или 2), приводит к занижению массовой доли в соответствии с формулой (4.5), зависящему от соотношения его продолжительности  $\Delta\tau_B$  и интервала времени между отбором проб  $\Delta t$ . Это занижение может быть сравнительно небольшим. Учет же попавшего в пробу всплеска приводит к гораздо более значительному завышению массовой доли. Завышение  $\Delta\alpha$  будет предопределяться учтенным всплеском.

Так как соотношение  $\Delta\tau_B / \Delta t$  является малой величиной, из формулы (4.4) при  $n_o = n_B$  следует, что

$$\Delta\alpha \approx \Delta\alpha_B \cdot \frac{n_B}{N}. \quad (4.8)$$

Массовая доля за короткий период будет существенно завышена.

Появление ураганных проб не считается нормой в практике работы обогатительных фабрик, поэтому ураганные пробы исключаются из расчетов или заменяются результатами контрольного (повторного) опробования. Это не позволяет компенсировать действие ВСП, а также допускает появление новой погрешности, связанной с асимметрией распределения массовой доли – методической погрешности.

Если всплески массовой доли не учитывать в пробах за большой контрольный период, это приведет к занижению массовой доли. Такое занижение компенсирует учет попавших в точечные пробы всплесков. По этой причине результаты анализа ураганных проб за длинный (большой) контрольный период при расчете средней массовой доли не учитывать нельзя. Ураганные пробы за короткий контрольный период следует исключать из расчета, а за длинный контрольный период – принимать к расчету.

Границу между коротким и длинным контрольным периодом  $T$  возможно установить ориентировочно из условия  $\Delta\alpha = 0,01\alpha_H$  (относительная случайная погрешность определения  $\Delta\alpha$  составляет 1 %).

Отсюда

$$N=100 \cdot \frac{\Delta\alpha_{\text{в}}}{\alpha_{\text{н}}} \quad (4.9)$$

Если  $\frac{\Delta\alpha_{\text{в}}}{\alpha_{\text{н}}} = 2$ , то  $N = 200$ , а если  $\frac{\Delta\alpha_{\text{в}}}{\alpha_{\text{н}}} = 10$ , то  $N = 1\,000$ .

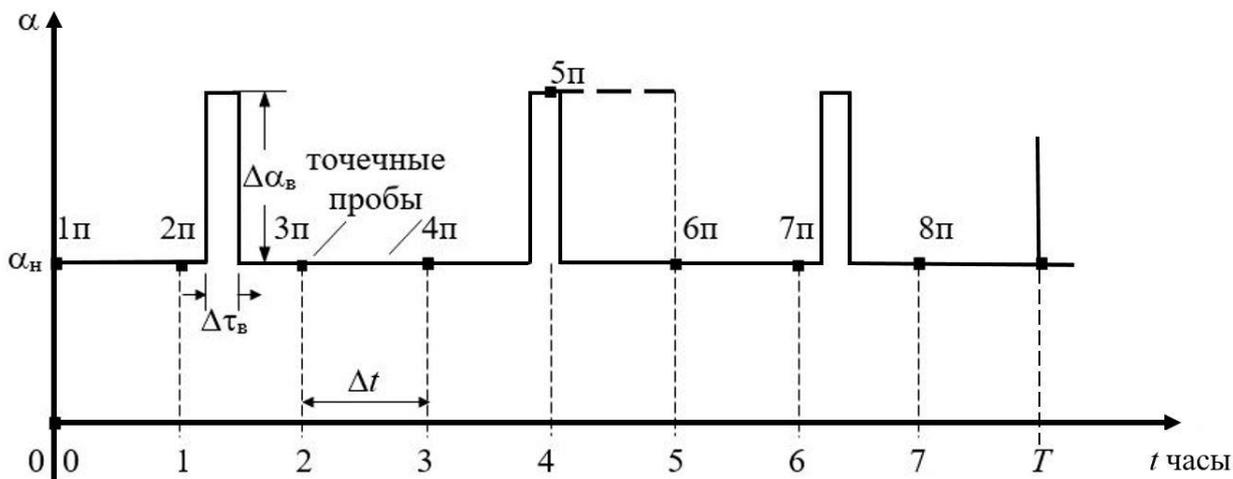


Рисунок 4.2 – Изменение массовой доли  $\alpha$  в течение контрольного периода  $T$ :  
(1п – 8п) – номера часовых точечных проб

При почасовом опробовании ( $\Delta t = 1$  час) длинным контрольным периодом будет  $T = 200 - 1\,000$  часов, а при 10-минутном –  $T = 33 - 166$  часов. Отсюда формулируется общая закономерность: чем больше величина  $\Delta t$ , тем длиннее контрольный период, за который не следует принимать к расчету ураганные пробы.

Интервал времени между отбором точечных проб  $\Delta t$ , обеспечивающий снятие вопроса учета ураганных проб в зависимости от величины контрольного периода, для условия  $\Delta\alpha = 0,01 \alpha_{\text{н}}$  будет найден по формуле

$$\Delta t = \frac{T}{100} \cdot \frac{\alpha_{\text{н}}}{\Delta\alpha_{\text{в}}} \quad (4.10)$$

В таблице 4.1 приведены результаты расчета по формуле (4.10) интервала отбора точечных проб, обеспечивающего учет колебаний массовой доли ценного компонента. Расчет основан на зафиксированных при текущем опробовании за сутки ( $T = 1440$  минут) ураганных пробах. Необходимый интервал отбора точечных проб  $\Delta t$  рассчитан для относительной погрешности определения величины  $\Delta\alpha$  1,00 %, 0,50 % и 0,25 % ( $\Delta\alpha = 0,01\alpha_{\text{н}}$ ;  $\Delta\alpha = 0,005\alpha_{\text{н}}$ ;  $\Delta\alpha = 0,0025\alpha_{\text{н}}$ ).

Для учета всплесков при определении массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения необходимо использовать короткие интервалы времени между отбором точечных проб. Величина интервалов может составлять от нескольких минут до долей минуты.

Методическая погрешность является погрешностью алгоритма обработки результатов как непосредственно анализа проб, так и алгоритма обработки результатов опробования продуктов обогащения.

Таблица 4.1 – Результаты расчета интервала отбора точечных проб для учета всплесков массовой доли ценного компонента

Ценный компонент/ продукт обогащения	Массовая доля без учета ураганных проб $\alpha_n$	Амплитуда всплеска $\Delta\alpha_v$	Необходимый интервал отбора $\Delta t$ , мин.			Существующий интервал отбора $\Delta t_{сущ.}$ , мин
			$\Delta\alpha = 0,01\alpha_n$	$\Delta\alpha = 0,005\alpha_n$	$\Delta\alpha = 0,0025\alpha_n$	
Медь/хвосты	0,22 %	1,62 %	2	1,0	0,5	60
Цинк/хвосты	0,45 %	2,46 %	3	1,3	0,7	60
Золото/хвосты	0,25 г/т	2,40 г/т	2	0,8	0,4	30
Золото/хвосты	0,70 г/т	3,23 г/т	3	1,6	0,8	30
Свинец/хвосты	0,39 %	1,65 %	3	1,7	0,9	30
Цинк/хвосты	0,17 %	0,41 %	6	3,0	1,5	30
Золото/руда	6,30 г/т	30,12 г/т	3	1,5	0,8	5
Свинец/руда	1,68 %	5,88 %	4	2,1	1,1	30
Медь/руда	2,42 %	4,10 %	8	4,3	2,2	30
Цинк/руда	0,69 %	3,20 %	3	1,6	0,8	30

Алгоритм, создающий в сочетании с асимметрией распределения массовой доли условия для возникновения методической погрешности, может быть заложен в методику выполнения измерений, в инструкции по составлению технологического и товарного балансов, а также в соглашения о поставке руд или концентратов. В отдельных случаях величина методической погрешности может составлять более 10 % относительных. Устранение методической погрешности возможно за счет отказа от исключения из выборки правильных результатов анализа (опробования) и за счет увеличения числа анализируемых рабочих проб с вычислением среднего арифметического значения по результатам анализа каждой из проб.

В пятой главе выполнено обоснование необходимости использования высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб, приведены схемы и порядок применения данного способа для кусковых и пульповых продуктов. Приведено состояние дел по учету погрешностей результата опробования в нормативной документации и стандартах на опробование. Разобрано содержание и порядок применения требований ГОСТ 14180-80. Приведен алгоритм оценки соответствия точки опробования требованиям стандарта на опробование на примере ГОСТ 14180-80.

Возможности опробования различных по крупности и состоянию массивов ограничены действием как известных погрешностей, так и новых специфических погрешностей. Развитие теории опробования демонстрирует общую закономерность снижения или устранения всех известных погрешностей путем значительного увеличения числа точечных проб по сравнению с требованиями действующих стандартов на опробование. При этом создается возможность существенного уменьшения числа кусков в точечной пробе.

Высокочастотный отбор проб сопровождается получением начальной пробы большой массы. Для практического применения высокочастотного отбора проб предложен его комбинированный вариант, при котором сокращение начальной пробы выполняется путем отбора большого числа микропорций. Это способствует сохранению величины случайной погрешности сокращенной пробы на уровне погрешности отбора начальной пробы. Высокочастотный способ получил дополнительное название

«комбинированный» по причине сочетания в нем элементов способа продольного пересечения потока и способа поперечного пересечения потока, предполагающих сокращение начальной пробы до требуемого объема.

На рисунке 5.1 показаны варианты высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб, применяемые в зависимости от условий выполнения опробования и параметров опробуемого массива.

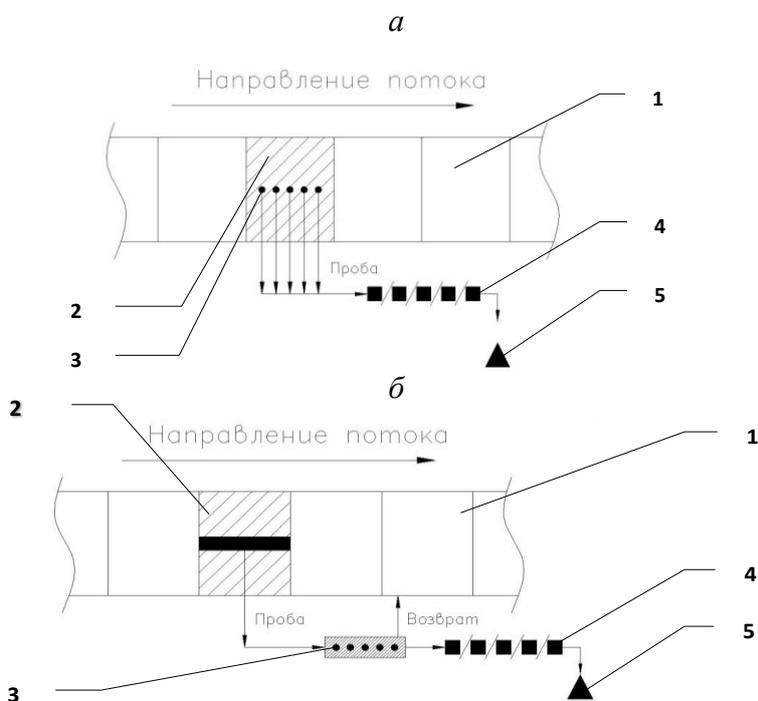


Рисунок 5.1 – Варианты высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб (штриховкой показаны перемешиваемые элементы потока и пробы):

- 1 – элементы опробуемого массива; 2 – начальные пробы;
  - 3 – вторичные точечные пробы; 4 – микропорции; 5 – объединенные пробы
- а – для перегружаемых масс и потоков (контейнеры, вагоны); б – для потоков

*Теоретический предел достоверности опробования* – величина случайной погрешности отбора точечных проб от исходного массива, обусловленная максимальным покусковым коэффициентом вариации массовой доли ценного компонента в опробуемом массиве и конечным числом точечных проб.

*Высокочастотный комбинированный способ отбора проб* – это способ отбора максимального числа проб с минимальной случайной погрешностью.

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. Предельным технологическим вариантом высокочастотного комбинированного отбора проб кусковых продуктов является

отбор в пробу готового для анализа класса крупности (пылевых фракций). При этом условия отбора проб становятся приближенными к покусковому отбору.

Действующие стандарты на опробование содержат смысловые и технические ошибки, приводящие к прямому нарушению требований этих же стандартов и неоднозначному толкованию их требований. На примере ГОСТ 14180-80 показана необходимость переработки действующих стандартов на опробование для устранения допущенных ранее смысловых и технических ошибок.

Предложен алгоритм оценки соответствия точки опробования требованиям стандарта, основанный на предварительном определении значимости каждого из пунктов соответствия. Соответствие точки опробования требованиям стандарта должно выполняться в полном объеме только по условиям значимого соответствия.

В **шестой главе** предложено устройство и принцип действия оборудования для отбора и сокращения проб высокочастотным комбинированным способом. Приведены основные требования к выбору оборудования и алгоритмы расчета для технологического проектирования оборудования.

Разработаны промышленные образцы нового оборудования для отбора и сокращения проб: для неподвижных продуктов разработан дисковый сократитель типа «СОД-2»; для движущихся пульповых продуктов разработаны станции опробования пульпы типа «СОП-1П» и «СОП-2П»; для движущихся кусковых продуктов разработана станция опробования типа «СО-КН».

Налажен промышленный выпуск разработанного оборудования.

Предложены и теоретически обоснованы *номинальные параметры работы дискового сократителя: номинальная производительность и номинальная частота вращения диска*. Полученные параметры позволяют определить типоразмер дискового сократителя и выполнить количественную оценку условий применения дисковых сократителей для работы с различными по свойствам пробами. С целью количественного определения характеристик процесса сокращения в дисковом сократителе при номинальных параметрах работы рекомендовано использовать *предельные характеристики процесса сокращения*, определяемые расчетом по предложенным формулам: *минимальную массу исходной пробы, минимальный выход сокращенной пробы*. Теоретически обоснованы и подтверждены экспериментально условия для предотвращения эффекта сегрегации путем усреднения опробуемого (сокращаемого) продукта в тонком слое или монослое на поверхности вращающегося диска. Разработан типоразмерный ряд дисковых сократителей с диаметром разбрасывающего диска от 100 до 600 мм, рассчитанных на производительность по исходной пробе от 0,75 до 24,0 м<sup>3</sup>/ч.

Предложен алгоритм расчета оборудования станции опробования пульпы, заключающийся в сквозном определении выходов сокращенной пробы: *выхода начальной пробы после щелевого пробоотборника, выхода сокращенной пробы после секторного пробоотбирателя, выхода сокращенной пробы после сократителя потока*. Разработан типоразмерный ряд станций опробования пульпы для отбора и сокращения проб от потоков в трубопроводах диаметром

от 89 до 820 мм. Производительность опробуемого потока по пульпе составляет соответственно от 65 до 5000 м<sup>3</sup>/ч.

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** выполнен обзор применения высокочастотного комбинированного способа отбора проб и реализующего его оборудования. Показаны примеры компоновочных решений по оборудованию для опробования неподвижных и перемещаемых продуктов. Приведены примеры и алгоритмы по устранению ВСП при определении массовой доли ценного компонента и гранулометрического состава продуктов обогащения, а также снижению случайной погрешности результата опробования. Представлены сведения об улучшении технико-экономических показателей переработки минерального сырья при переходе на комбинированный высокочастотный способ отбора проб.

На рисунке 7.1 показан пример расположения станций опробования пульпы на вертикальном и горизонтальном участках трубопровода.



Рисунок 7.1 – Станции опробования пульпы на объектах

При помощи разработанного оборудования устраняется влияние на результат опробования ВСП массовой доли ценных компонентов и гранулометрического состава. Величина устраняемых ВСП на обогатительных фабриках составляет более 5 % для золота и более 7 % для меди и цинка, а также более 7 % по содержанию готового класса крупности.

Применение высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб позволило улучшить показатели переработки минерального сырья. Достигнуто снижение величины невязки товарного баланса: для медно-цинковой обогатительной фабрики в 1,5 раза по меди и в 1,3 раза по цинку, для ЗИФ – в 1,6 раза по золоту и в 1,9 раза по серебру (таблица 7.1).

Предложенный способ отбора и сокращения проб позволяет выполнить качественную оценку скрытых потерь и излишков ценных компонентов в продуктах обогатительных фабрик. В отвальных хвостах медно-цинковой обогатительной фабрики зафиксированы скрытые излишки меди на величину до +70 тонн за месяц и скрытые излишки цинка на величину до +120 тонн за месяц. В питании процесса

флотации той же обогатительной фабрики могут присутствовать как скрытые потери, так и скрытые излишки золота величиной до 25 килограммов за месяц.

Таблица 7.1 – Снижение величины невязки товарного баланса после перехода на высокочастотный комбинированный способ отбора и подготовки проб

Обогатительная фабрика	Период работы, мес.	Ценный компонент	Изменение невязки товарного баланса за период работы, %	
До перехода на высокочастотный комбинированный способ				
Медно-цинковая	8	Медь	+4,1	- 5,9
		Цинк	+4,7	-3,3
ЗИФ	10	Золото	+5,9	-7,1
		Серебро	+4,7	-4,3
После перехода на высокочастотный комбинированный способ				
Медно-цинковая	12	Медь	+3,2	-3,6
		Цинк	+2,9	-3,3
ЗИФ	16	Золото	+3,5	-4,8
		Серебро	+2,3	-2,5

В таблице 7.2 показана разница стоимости руд и концентратов цветных и благородных металлов, возникающая за год из-за разницы результатов опробования у производителя (продавца) и переработчика (покупателя).

Таблица 7.2 – Разница стоимости продуктов обогатительных фабрик за год по результатам опробования у производителя и переработчика

Опробуемый продукт / ценный компонент	Масса ценного компонента в продукте	Разница массы ценного компонента по результатам производителя и переработчика	Разница стоимости продукта, млн. руб.
Медный концентрат / медь	7 700 т	161,7 т	59,8
Цинковый концентрат / цинк	3 200 т	134,4 т	16,1
Золотой концентрат / золото	1 920 кг	40 кг	88,0
Медно-цинковая руда / медь	11 000 т	308 т	61,6
Медно-цинковая руда / цинк	27 000 т	540 т	43,2
Золотая руда / золото	3 200 кг	48 кг	57,6

Эта разница является размером понесенных убытков для одного предприятия и полученной переплаты для другого. В результате для групп предприятий происходит перераспределение денежных средств, непропорциональное объемам поставляемой и приобретаемой товарной продукции. Такое явление оказывает негативное влияние на финансовые показатели деятельности как отдельных предприятий, так и экономики отрасли в целом. Указанная разница стоимости руд и концентратов снижается за счет применения высокочастотного комбинированного способа отбора проб.

Применение высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб позволяет провести комплексное совершенствование процесса опробования продуктов переработки путем механизации операций опробования, увеличения представительности контроля ценных компонентов, снижения

невязки товарного баланса и снижения затрат на техническое обеспечение системы контроля качества.

### Заключение

В диссертации разработаны научно-обоснованные методические, теоретические, технологические и технические решения, направленные на создание новой технологии опробования продуктов обогатительных фабрик, внедрение которых позволяет повысить представительность технического контроля процессов обогащения руд и является основой для разработки новых стандартов на опробование.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Определение систематических и случайных погрешностей результатов опробования по действующим отечественным и международным стандартам основано на известных формулах математической статистики. При этом оценка погрешностей выполняется без учета практической специфики опробования минерального сырья, характеризующейся большим количеством операций, значительной трудоемкостью и высоким уровнем оцениваемых погрешностей.

2. Нарушения технологии отбора и подготовки проб на практике приводят к возникновению систематических погрешностей определения массовой доли ценного компонента, а также массы и влажности продуктов обогащения. Систематические погрешности носят методический, технологический и технический характер.

Применение двух принципов правильного опробования является условием исключения систематической погрешности. Принципы правильного опробования должны применяться в предложенных условиях, обеспечивающих равнопредставительность и непредпочтительность отбора проб.

3. Случайная погрешность опробования является функцией свойств опробуемого массива и числа точечных проб. В формулах для расчета случайных погрешностей отбора проб эта зависимость не учтена в полной мере.

В формуле минимальной массы пробы коэффициент  $k$  зависит от допустимой погрешности сокращения и изменяется в большем диапазоне значений, чем рекомендуют современные авторы. Диапазон изменения коэффициента  $k$  для промышленных типов золотосодержащих руд находится в интервале от 0,3 до 90, для медных руд – от 0,01 до 1,2.

Информативность соседних точечных проб снижается с 1,0 до 0,5 по мере уменьшения интервала времени между их отбором. Случайная погрешность объединенной начальной пробы и число точечных проб должны рассчитываться с учетом снижения информативности соседних точечных проб.

Дубликатное опробование, выполняемое на коротком контрольном периоде (за смену) для экспериментального определения случайных погрешностей, характеризуется низкой достоверностью. Более предпочтительным будет использование результатов текущего определения массовых долей ценных компонентов на относительно большом количестве

идентичных контрольных периодов (партий). Для сохранения информативности проб параллельные пробы необходимо назначать через период времени, больший величины времени корреляции. Для медно-цинковых руд параллельные пробы следует назначать через 12 часов.

Алгоритм определения коэффициента вариации массовой доли ценного компонента, предусмотренный стандартом ГОСТ 14180-80, характеризуется высокими случайными погрешностями, за короткий контрольный период сопоставимыми с величиной коэффициента вариации. Коэффициенты вариации массовых долей в потоке целесообразно находить для больших контрольных периодов (месяц) с последующим пересчетом на малые контрольные периоды (смена). Коэффициент вариации массовой доли меди в руде за месяц может составлять более 30 %, тогда как за смену в пределах этого месяца не превышать 15 %.

4. Асимметричность распределений массовой доли ценного компонента в точечных пробах является принципиальной особенностью опробуемых массивов на обогатительных фабриках. Асимметричные распределения массовой доли приводят к появлению новых специфических погрешностей – вероятной систематической погрешности и методической погрешности. Величина вероятной систематической погрешности при опробовании медно-цинковых руд может достигать 9 % относительных и оказывать значимое влияние на достоверность результатов опробования. Новые погрешности не учитываются стандартами на опробование.

5. В качестве инструмента для оценки качества опробования на обогатительных фабриках требуется использовать независимый товарный баланс продуктов обогащения по ценным компонентам. Исходными данными для составления товарного баланса обогатительной фабрики являются результаты текущего опробования и взвешивания продуктов обогащения на обогатительной фабрике. При помощи товарного баланса выполняется оценка погрешностей определения массовой доли ценных компонентов, определения влажности продуктов и определения массы продуктов. Критерием правильности опробования на обогатительной фабрике является величина фактической невязки товарного баланса, не превышающая величину допустимой невязки.

6. Объединение расчетов минимальной массы проб от перемешанных и неперемешанных массивов возможно на основе предельного варианта величины точечной пробы – одного куска. В этом случае коэффициенты вариации массовой доли в обоих вариантах расчета равны между собой и равны покусковому коэффициенту вариации точечных проб. Отбор в пробу одного куска получил название покускового отбора и является теоретическим условием идентичности формул расчета минимальной массы проб для перемешанных и для неперемешанных массивов. Таким образом решен фундаментальный вопрос совместимости двух независимых направлений теории опробования.

7. Покусковой отбор проб на практике выполняется путем отбора с повышенной частотой точечных проб, состоящих из большого количества кусков. Такой отбор проб получил название высокочастотного отбора. Число точечных

проб, отбираемых за контрольный период, составляет не менее 20 000 для руд и не менее 800 для концентратов. Число точечных проб определяется коэффициентом вариации массовой доли ценного компонента величиной 25 % для руд и 5 % для концентратов при допустимой относительной случайной погрешности результата опробования 0,5 % и информативности точечных проб, близкой к 0,5.

8. Для адаптации высокочастотного отбора проб к условиям опробования на обогатительных фабриках применяется его высокочастотный комбинированный вариант, при котором сокращение начальной пробы большой массы выполняется путем отбора большого числа микропорций. Число микропорций соответствует числу точечных проб, определенному для высокочастотного отбора.

Высокочастотный комбинированный способ отбора проб обеспечивает случайную погрешность результата опробования на уровне 0,5 % относительных, а также уменьшает до незначимых величин новые специфические погрешности.

9. Для разработки новых стандартов на опробование требуется выполнение следующих методических и технологических решений: включение в стандарты принципов правильного опробования и условий их применения; включение в стандарты способов отбора пробы продольным и поперечным пересечением потока как способов с равнозначными преимуществами, применимыми для товарного опробования; включение в стандарты способа перегрузки для неподвижных продуктов; включение в стандарты алгоритмов определения случайных погрешностей опробования на основе использования результатов текущего опробования на обогатительной фабрике; включение в стандарты алгоритма определения коэффициента вариации массовой доли на основании использования результатов текущего опробования на обогатительной фабрике; включение в стандарты методики расчета числа точечных проб с учетом их автокорреляции по массовой доле; включение в стандарты методики расчета погрешности подготовки проб с использованием покусковой дисперсии по рассчитываемому коэффициенту  $k$  в формуле минимальной массы пробы; включение в стандарты алгоритма расчета товарного баланса как способа оценки качества опробования на обогатительной фабрике.

10. Для практической реализации высокочастотного комбинированного способа отбора проб разработаны промышленные образцы оборудования. Разработан типоразмерный ряд дисковых сократителей с диаметром разбрасывающего диска от 100 до 600 мм, рассчитанных на производительность по исходной пробе от 0,75 до 24,0 м<sup>3</sup>/ч. Разработан типоразмерный ряд станций опробования пульпы для отбора и сокращения проб от потоков в трубопроводах диаметром от 89 до 820 мм. Производительность опробуемого потока по пульпе составляет соответственно от 65 до 5 000 м<sup>3</sup>/ч.

Организован промышленный выпуск оборудования.

11. Величина устраняемых вероятных систематических погрешностей на обогатительных фабриках составляет более 5 % для золота и более 3 % для меди

и цинка, а также более 7 % по содержанию готового класса крупности. Достигнуто снижение величины невязки товарного баланса: для медно-цинковой обогатительной фабрики в 1,5 раза по меди и в 1,3 раза по цинку, для ЗИФ – в 1,6 раза по золоту и в 1,9 раза по серебру. Предложенный способ отбора проб позволяет выполнить качественную оценку скрытых потерь и излишков ценных компонентов в продуктах обогатительных фабрик. В отвальных хвостах медно-цинковой обогатительной фабрики зафиксированы скрытые излишки меди на величину до +70 тонн за месяц и скрытые излишки цинка на величину до +120 тонн за месяц. В питании процесса флотации той же обогатительной фабрики могут присутствовать как скрытые потери, так и скрытые излишки золота величиной до 25 килограммов за месяц.

12. Высокочастотный комбинированный способ отбора проб используется на 31 предприятии горно-обогатительной и металлургической отрасли Российской Федерации, стран Таможенного союза ЕАЭС и стран ближнего зарубежья. Суммарный годовой экономический эффект от применения высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб составляет: на медно-цинковых обогатительных фабриках – до 50 млн. руб., на ЗИФ – до 90 млн. руб.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

*Статьи в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК:*

1. Козин, В. З., Комлев, А. С. Об использовании формулы Ричардса-Чечотта для определения массы представительной пробы / В. З. Козин, А. С. Комлев // Обогащение руд. – 2016 – № 3 – С. 47 – 51.

2. Козин, В. З., Комлев, А. С. Влияние массы навески и условий ее отбора на погрешность результата анализа пробы / В. З. Козин, А. С. Комлев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2016 – № 5 – С. 76 – 83.

3. Козин, В. З., Комлев, А. С. Опробование крупнокусковых продуктов / В. З. Козин, А. С. Комлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020 – № 3 – 1 – С. 410 – 421.

4. Комлев, А. С. Оптимизация процессов промышленной пробоподготовки / А. С. Комлев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2011 – № 4 – С. 67 – 70.

5. Козин, В. З., Комлев, А. С. Экспериментальное определение случайных погрешностей опробования на обогатительных фабриках / В. З. Козин, А. С. Комлев // Обогащение руд. – 2017 – № 2 – С. 44 – 48.

6. Козин, В. З., Комлев, А. С. О разработке современного стандарта на опробование руд и продуктов обогащения / В. З. Козин, А. С. Комлев // Обогащение руд. – 2016 – № 2 – С. 27 – 32.

7. Козин, В. З., Комлев, А. С., Ступакова, Е. В. Об использовании дубликатного опробования для оценки случайных погрешностей / В. З. Козин, А. С. Комлев, Е. В. Ступакова // Обогащение руд. – 2019 – № 6 – С. 36 – 41.

8. *Козин, В. З., Комлев, А. С.* Определение случайной погрешности отбора проб при использовании автоматических анализаторов / В. З. Козин, А. С. Комлев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2017 – № 7 – С. 107 – 112.

9. *Козин, В. З., Комлев, А. С.* Определение коэффициентов вариации массовой доли компонентов в продуктах обогащения / В. З. Козин, А. С. Комлев // Обогащение руд. – 2019 – № 1 – С. 28 – 33.

10. *Козин, В. З., Комлев, А. С.* Ураганные пробы и их учет / В. З. Козин, А. С. Комлев // Обогащение руд. – 2015 – № 4 – С. 39 – 43.

11. *Козин, В. З., Комлев, А. С.* Методические погрешности опробования на обогатительных фабриках / В. З. Козин, А. С. Комлев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015 – № 7 – С. 101 – 105.

12. *Комлев, А. С.* Составление и использование товарного баланса обогатительной фабрики / А. С. Комлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021 – № 11 – 1 – С. 276 – 284.

13. *Козин, В. З., Комлев, А. С., Водовозов, К. А.* Погрешности технологического баланса на обогатительных фабриках / В. З. Козин, А. С. Комлев, К. А. Водовозов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2017 – № 5 – С. 74 – 80.

14. *Козин, В. З., Комлев, А. С., Ступакова, Е. В.* Анализ схем подготовки проб на основе покусковых коэффициентов вариации массовых долей компонентов / В. З. Козин, А. С. Комлев, Е. В. Ступакова // Обогащение руд. – 2021 – № 1 – С. 15 – 19.

15. *Козин, В. З., Комлев, А. С., Ступакова, Е. В.* Определение относительных случайных погрешностей опробования продуктов обогащения / В. З. Козин, А. С. Комлев, Е. В. Ступакова // Обогащение руд. – 2022 – № 3 – С. 28 – 34.

16. *Козин, В. З., Комлев, А. С.* Случайная погрешность отбора и анализа проб способом продольных сечений / В. З. Козин, А. С. Комлев // Обогащение руд. – 2018 – № 1 – С. 28 – 32.

17. *Козин, В. З., Комлев, А. С.* Расчет фундаментальной погрешности отбора проб / В. З. Козин, А. С. Комлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021 – № 11 – 1 – С. 265 – 275.

18. *Козин, В. З., Комлев, А. С.* Асимметрия распределений массовой доли опробуемого компонента в точечных пробах / В. З. Козин, А. С. Комлев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2022 – № 5 – С. 77 – 87 (англ).

19. *Козин, В. З., Комлев, А. С., Водовозов, К. А.* Погрешности определения выходов и извлечений в технологических балансах обогатительных фабрик / В. З. Козин, А. С. Комлев, К. А. Водовозов // Обогащение руд. – 2018 – № 3 – С. 44 – 50.

20. *Комлев, А. С.* Теоретическое обоснование параметров работы дискового сократителя / А. С. Комлев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2010 – № 4 – С. 96 – 101.

21. Козин, В. З., Комлев, А. С. Неоднозначность вероятной систематической погрешности опробования / В. З. Козин, А. С. Комлев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015 – № 5 – С. 112 – 116.

22. Комлев, А. С. Экспериментальное определение вероятной систематической погрешности при отборе проб продуктов обогащения комбинированным способом / А. С. Комлев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2016 – № 6 – С. 84 – 90.

23. Комлев, А. С. Условия достоверного определения массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения / А. С. Комлев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2019 – № 5 – С. 63 – 74.

24. Козин, В. З., Комлев, А. С., Ступакова, Е. В. Поправочный коэффициент к формуле погрешности сокращения проб / В. З. Козин, А. С. Комлев, Е. В. Ступакова // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2023 – № 1 – С. 66 – 77.

25. Козин, В. З., Комлев, А. С., Волков, П. С. Подготовка проб, содержащих недробимые включения, к анализу / В. З. Козин, А. С. Комлев, П. С. Волков // Обогащение руд. – 2017 – № 1 – С. 24 – 28.

26. Козин, В. З., Комлев, А. С., Волков, П. С. Эффективность использования операций обогащения в схемах подготовки проб / В. З. Козин, А. С. Комлев, П. С. Волков // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2017 – № 3 – С. 83 – 87.

27. Комлев, А. С. Обоснование соответствия дискового сократителя требованиям нормативной документации / А. С. Комлев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2010 – № 4 – С. 79 – 83.

28. Козин, В. З., Комлев, А. С. Комбинированный способ отбора проб продуктов обогащения и оборудование для его реализации / В. З. Козин, А. С. Комлев // Обогащение руд. – 2014 – № 3 – С. 28 – 32.

29. Козин, В. З., Морозов, Ю. П., Комлев, А. С., Фалькович, Е. С. Оборудование и технологии для отбора и подготовки проб на обогатительных фабриках / В. З. Козин, Ю. П. Морозов, А. С. Комлев, Е. С. Фалькович // Горный журнал. – 2015 – № 8 – С. 76 – 81.

30. Козин, В. З., Комлев, А. С. Балансы металлов на обогатительных фабриках / В. З. Козин, А. С. Комлев // Обогащение руд. – 2023 – № 2 – С. 9 – 16.

*Статьи в сборниках материалов конференций, отражающие основные положения диссертации:*

1. Комлев, А. С. Повышение уровня механизации процессов опробования / А. С. Комлев // VI Конгресс обогатителей стран СНГ. Материалы Конгресса, том I. – 2007 – С. 176 – 177.

2. Морозов, Ю. П., Комлев, А. С. Совершенствование оборудования для сокращения и отбора проб / Ю. П. Морозов, А. С. Комлев // Международное совещание «Плаксинские чтения – 2007»: материалы международной конференции, том 1. – 2007 – С. 197 – 200.

3. *Комлев, А. С.* Комбинированный способ опробования продуктов обогатительных фабрик / А. С. Комлев // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XIX Международной научно-технической конференции. – 2014 – С. 14 – 21.

4. *Козин, В. З., Комлев, А. С.* Комбинированный способ отбора проб от руд и продуктов обогащения / В. З. Козин, А. С. Комлев // Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья (Плаксинские чтения – 2016): Материалы международной конференции. – 2016 – С. 516 – 518.

5. *Комлев, А. С.* Корректировка товарного баланса обогатительной фабрики / А. С. Комлев // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXVI Международной научно-технической конференции. – 2021 – С. 132 – 139.

6. *Козин, В. З., Комлев, А. С., Ступакова, Е. В.* Распределение массовой доли ценного компонента в точечных пробах / В. З. Козин, А. С. Комлев, Е. В. Ступакова // Современные проблемы комплексной и глубокой переработки минерального сырья природного и техногенного происхождения (Плаксинские чтения – 2022): Материалы международной конференции. – 2022 – С. 184 – 187.

7. *Комлев, А. С.* Условия выполнения принципов правильного опробования / А. С. Комлев // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXVIII Международной научно-технической конференции. – 2023 – С. 85 – 93.

*Монография:*

*Комлев, А. С.* Комбинированный способ отбора и сокращения проб минеральных продуктов: научная монография / А. С. Комлев. – Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть. 2020 – 216 с.

*Патентные документы:*

1. Пат. 2347205 Российская Федерация, МПК G01N1/20 (2006-01-01), Сократитель дисковый электромеханический и способ сокращения и отбора проб с его использованием / Морозов Ю. П., Козин В. З., Комлев А. С.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Таилс КО» (RU). – № 2007127529; заяв. 18.07.2007; опубл. 20.02.2009, Бюл. № 5. – 5 с.

2. Пат. на полезную модель 115067 Российская Федерация, Сократитель дисковый конический / Комлев А. С., Морозов Ю. П., Козин В. З., Фалькович Е. С.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Спецлабсервис» (RU). – № 2011135221; заяв. 23.08.2011; опубл. 20.04.2012. – 2 с.

3. Пат. 2511377 Российская Федерация, МПК G01N1/20 (2006-01-01), Станция опробования пульпы и способ опробования потока пульпы с ее использованием / Морозов Ю. П., Козин В. З., Комлев А. С., Фалькович Е. С., заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Таилс КО» (RU). – № 2011154028; заяв. 28.12.2011; опубл. 07.02.2014, Бюл. № 10. – 7 с.

Подписано в печать 07.03.2024 г.  
Формат бумаги 60 x 90 1/16. Бумага писчая. Печать цифровая  
Печ. л. 2,3. Тираж 100. Заказ №

Издательство УГГУ  
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30