

ФГБОУ ВО  
«Уральский государственный горный университет»

На правах рукописи



КОМЛЕВ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

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

Специальность 2.8.9 – «Обогащение полезных ископаемых»

Диссертация  
на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант –  
доктор технических наук, профессор  
В. З. Козин

Екатеринбург – 2024

## Содержание

	Введение .....	7
1	Теория и практика опробования продуктов обогатительных фабрик .....	12
1.1	Опробование минеральных продуктов. Объекты опробования. Технический контроль в обогащении минерального сырья .....	12
1.1.1	Основные параметры опробования .....	12
1.1.2	Организация технического контроля процессов обогащения ...	13
1.2	Нормативная база процессов опробования .....	16
1.2.1	Нормативно-техническая документация процессов опробования продуктов обогащения. Стандарты на опробование .....	16
1.2.2	Характеристики опробуемых массивов. Требования к опробуемым массивам .....	18
1.2.3	Основные требования к процессам отбора и подготовки проб .....	19
1.2.4	Контроль качества продуктов обогащения .....	22
1.2.5	Погрешности результата опробования .....	26
1.3	Современное состояние процессов опробования на обогатительных фабриках .....	30
1.3.1	Общая схема опробования. Получение результата опробования .....	30
1.3.2	Практика опробования продуктов обогатительных фабрик .....	32
1.3.3	Парадоксы теории и практики опробования .....	41
1.3.4	Экспериментальное определение погрешностей результата опробования .....	47
1.4	Современная теория опробования и ее практическое применение .....	52
1.4.1	История теории опробования .....	52
1.4.2	Случайная погрешность опробования. Теория опробования П. Жи «Theory of sampling» .....	53
1.4.3	Случайная погрешность опробования. Теория опробования В. З. Козина .....	57
1.4.4	Систематическая погрешность .....	63
1.5	Специфические погрешности результата опробования .....	66
1.5.1	Вероятная систематическая погрешность .....	66
1.5.2	Методическая погрешность .....	71
1.6	Задачи исследования .....	75
2	Систематическая погрешность результата опробования .....	77
2.1	Принципы правильного опробования .....	77

2.2	Нарушение принципов правильного опробования .....	78
2.3	Систематические погрешности определения массы и влажности .....	95
2.3.1	Связь случайных и систематических погрешностей определения сухой массы продуктов обогащения .....	95
2.3.2	Особенности расчета случайных погрешностей схем пробоподготовки с накоплением промежуточной пробы .....	97
2.3.3	Потери массы продуктов обогащения .....	98
2.3.4	Совместное действие систематических и случайных погрешностей на коротком и продолжительном контрольном периоде .....	101
2.4	Экспериментальная оценка систематических погрешностей ...	102
2.4.1	Экспериментальное доказательство отсутствия или наличия систематической погрешности .....	102
2.4.2	Товарный баланс как универсальный способ оценки наличия систематической погрешности .....	106
2.5	Необходимость пересмотра действующих стандартов на опробование .....	109
2.6	Выводы .....	116
3	Случайная погрешность опробования .....	119
3.1	Случайные погрешности различных способов отбора проб ....	119
3.1.1	Случайная погрешность отбора пробы способом поперечного пересечения. Необходимость экспериментального определения коэффициента вариации массовой доли в точечных пробах .....	119
3.1.2	Случайная погрешность отбора проб способом продольного пересечения. Снижение информативности точечных проб при переходе к малым интервалам времени их отбора .....	126
3.1.3	Случайная погрешность отбора проб от тщательно перемешанного опробуемого массива. Покусковой отбор проб .....	133
3.1.4	Формула фундаментальной случайной погрешности сокращения проб. Поправочный коэффициент к формуле погрешности сокращения проб .....	140
3.2	Экспериментальные методы определения погрешностей опробования .....	145
3.2.1	Общие недостатки дисперсионного анализа .....	145
3.2.2	Рациональная методика определения случайных погрешностей опробования .....	148
3.2.3	Экспериментальное определение случайной погрешности опробования продуктов обогащения. Расчет и минимизация случайных погрешностей на примере медно-никелевых обогачительных фабрик .....	156

3.2.4	Экспериментальное определение случайной погрешности опробования продуктов обогащения. Расчет и минимизация случайных погрешностей на примере золотоизвлекательных фабрик .....	165
3.2.5	Экспериментальное определение случайной погрешности опробования продуктов обогащения. Расчет и минимизация случайных погрешностей на примере хромовых обогатительных фабрик .....	171
3.3	Применение формулы минимальной массы пробы Ричардса-Чечотта .....	174
3.4	Рабочая схема расчета относительных случайных погрешностей результата опробования .....	181
3.5	Высокочастотный отбор проб. Универсальное решение для опробования продуктов обогатительных фабрик .....	192
3.6	Выводы .....	195
4	Специфические погрешности результата опробования .....	199
4.1	Асимметрия распределений массовой доли ценного компонента в точечных пробах .....	199
4.1.1	Закономерности распределения массовой доли ценного компонента в пробах продуктов обогащения .....	199
4.1.2	Экспериментальная оценка распределения массовой доли ценного компонента в точечных пробах .....	203
4.1.3	Необходимость учета асимметричности распределения массовой доли ценного компонента в стандартах .....	204
4.2	Вероятная систематическая погрешность. Причины возникновения вероятной систематической погрешности результата опробования .....	206
4.3	Практика обнаружения и количественного определения вероятной систематической погрешности при опробовании продуктов обогащения .....	208
4.3.1	Определение вероятной систематической погрешности .....	208
4.3.2	Определение вероятной систематической погрешности путем выполнения последовательного опробования .....	208
4.3.3	Определение вероятной систематической погрешности путем построения распределения массовой доли ценного компонента .....	212
4.4	Практика обнаружения и количественного определения вероятной систематической погрешности при опробовании продуктов обогащения в схеме «поставщик-потребитель» .....	215
4.4.1	Определение и учет вероятной систематической погрешности в схеме поставки товарного концентрата на основании распределений массовой доли ценного компонента .....	215

4.4.2	Определение и учет вероятной систематической погрешности в схеме поставки концентрата на основании результатов последовательного опробования .....	222
4.5	Устранение влияния вероятной систематической погрешности при опробовании продуктов обогащения. Условие достоверного опробования .....	225
4.6	Методическая погрешность результата опробования .....	235
4.6.1	Условия возникновения методической погрешности опробования .....	235
4.6.2	Дополнительные условия возникновения методической погрешности .....	240
4.7	Выводы .....	246
5	Высокочастотный комбинированный способ отбора и сокращения проб .....	248
5.1	Необходимость применения способа высокочастотного комбинированного отбора проб .....	248
5.2	Ограничения способов отбора и сокращения проб по существующим погрешностям опробования .....	250
5.3	Схемы и определения высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб .....	262
5.4	Высокочастотный комбинированный отбор точечных проб .....	264
5.5	Методические основы учета погрешностей результата опробования .....	272
5.5.1	Учет известных погрешностей результата опробования в стандартах .....	272
5.5.2	Особенности содержания и применения требований Государственного стандарта на методы отбора и подготовки проб руд и концентратов цветных металлов .....	276
5.5.3	Оценка соответствия точки опробования требованиям Государственных стандартов .....	281
5.6	Выводы .....	285
6	Оборудование для отбора и сокращения проб высокочастотным комбинированным способом .....	287
6.1	Оборудование для отбора и сокращения проб от неподвижных продуктов .....	287
6.2	Оборудование для отбора и сокращения проб от движущихся продуктов .....	293
6.3	Расчет оборудования для отбора и сокращения проб .....	304
6.4	Защита интеллектуальной собственности на разработанное оборудование. Сертификация оборудования .....	321
6.5	Выводы .....	322

7	Применение высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб .....	324
7.1	Элементы компоновочных решений по оборудованию для отбора и сокращения проб .....	324
7.1.1	Элементы компоновочных решений по оборудованию для отбора проб от неподвижных продуктов .....	324
7.1.2	Элементы компоновочных решений по оборудованию для отбора проб от перемещаемых продуктов .....	331
7.2	Результаты промышленного внедрения высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб .....	353
7.2.1	Определение и устранение влияния вероятной систематической погрешности на результат определения массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения .....	353
7.2.2	Устранение влияния вероятной систематической погрешности на результат опробования в схеме «поставщик-потребитель» .....	355
7.2.3	Устранение влияния вероятной систематической погрешности на результат определения гранулометрического состава продуктов обогащения .....	358
7.2.4	Снижение случайной погрешности результата опробования ...	364
7.3	Улучшение технико-экономических показателей переработки сырья за счет применения высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб .....	369
7.4	Требования безопасности при эксплуатации оборудования для опробования .....	377
7.5	Выводы .....	378
	Заключение .....	381
	Библиографический список .....	385
	Приложение I .....	408
	Приложение II .....	409
	Приложение III .....	412
	Приложение IV .....	414

## Введение

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 теории 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 снижения систематических и случайных погрешностей опробования и исключаящих погрешности, вызываемые 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, исключающего 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 исключающим 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 кускового отбора точечных проб и массового отбора точечных проб с учетом величин кусковой 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 кускового 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 кускового 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.

## **1. Теория и практика опробования продуктов обогатительных фабрик**

### **1.1. Опробование минеральных продуктов. Объекты опробования. Технический контроль в обогащении минерального сырья**

#### **1.1.1. Основные параметры опробования**

Добыча и обогащение минерального и техногенного сырья сопровождается непрерывным контролем качества и количества всех исходных и получаемых продуктов. Источником получения информации для контроля являются процессы опробования и определения массы. Полученные на этапе обогащения концентраты подвергаются дальнейшей переработке или другим видам использования в различных отраслях промышленности.

По состоянию на сегодняшний день в Российской Федерации добывается и направляется на обогатительные фабрики более 450 миллионов тонн твердых полезных ископаемых в год [1, 2, 3]. На каждой из обогатительных фабрик опробование выполняется по всей технологической схеме. Помимо обогащения минерального сырья, переработка и использование концентратов обогатительных переделов также сопровождаются опробованием и определением массы. Таким образом, процессы опробования находят применение во многих отраслях, связанных с минеральным сырьем, а также продуктами его переработки.

Для Российской Федерации общий объем проб, отбираемых и обрабатываемых на этапах добычи, обогащения и дальнейшей переработки, составляет более 450 тысяч тонн в год. Так, только на одной точке опробования крупнодробленой исходной руды Талнахской обогатительной фабрики Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский никель» (ТОФ) общая масса начальной пробы за год составляет более 2,5 тысяч тонн [4, 5].

*Опробование* – процесс получения количественных характеристик опробуемого продукта путем выделения части этого массива в виде пробы, соответствующей ее подготовки и измерения контролируемых параметров.

*Проба* – выделенная часть опробуемого массива, характеризующая его свойства с заданной погрешностью.

К минеральным продуктам относятся продукты обогащения минерального сырья – концентраты, промежуточные продукты и отвальные хвосты. Все указанные продукты получают в результате выполнения процессов обогащения руд и техногенного сырья [1, 6, 7].

Основной количественной характеристикой продуктов обогащения является массовая доля контролируемого компонента. В большинстве случаев основным контролируемым компонентом является ценный (полезный) компонент, извлекаемый в концентрат. Наряду с основными ценными компонентами в продуктах обогащения может контролироваться массовая доля

попутных ценных компонентов и компонентов-примесей. Если технология обогащения предусматривает только очистку исходного сырья, выполняется контроль только компонентов-примесей. Примером такой технологии обогащения может быть очистка жильного кварца от сростков с породными минералами и полевого шпата методом обратной флотации [8].

Качество концентратов оценивается по массовой доле основных ценных компонентов, извлекаемых в концентрат попутных ценных компонентов и компонентов-примесей. В некоторых случаях качество концентратов оценивается только по массовой доле компонентов-примесей, влияющих на качество продукта, полностью состоящего из ценного компонента [1, 9]. Так, например, для полевошпатовых концентратов марок «ПШС» установлены пределы по массовой доле оксида железа [10, 11].

Помимо массовой доли продукты обогащения оцениваются по массовой доле воды (влаги):

- для сыпучих продуктов – по влажности;
- для пульпы – по плотности пульпы или по отношению «жидкое/твердое».

Также для продуктов обогащения выполняется определение гранулометрического состава [1, 3, 12]. Для исходных руд определяется массовая доля готового класса крупности или полный гранулометрический состав после последней стадии дробления и перед подачей в процесс обогащения. От массовой доли готового класса крупности зависит степень раскрытия минеральных зерен, напрямую влияющая на извлечение ценных компонентов в концентрат. Для некоторых видов крупнокусковых концентратов, направляемых в металлургический передел, гранулометрический состав определяет возможность прохождения газов через шихту в процессе плавки [13].

Процесс опробования состоит из следующих этапов:

- отбор пробы;
- подготовка (обработка) пробы;
- анализ (измерение) контролируемых показателей пробы.

Процесс опробования состоит из технологических и технических операций. К *технологическим операциям опробования* относятся операции отбора и подготовки (обработки) проб: отбор, перемешивание, сокращение, сушка, дробление, измельчение, грохочение (просеивание), фильтрование, в некоторых случаях – обогащение. *Технические операции опробования* предполагают выполнение измерений: взвешивание проб, определение массовой доли компонента в навеске, определение влажности, потерь при прокаливании, радиационного фона.

### **1.1.2. Организация технического контроля процессов обогащения**

Технические требования к химическому составу руд и концентратов регламентированы соответствующей нормативно-технической документацией (НТД). Система проверки соответствия продуктов и процессов обогащения

установленным техническим требованиям носит название *технического контроля* [6, 7].

По своему назначению технический контроль на горно-обогатительном или схожем по профилю производстве подразделяется на следующие виды:

1. *Приемо-сдаточный контроль* – предназначен для составления товарных балансов и для расчетов с поставщиками и потребителями.

2. *Технологический оперативный контроль* – предназначен для составления технологических балансов, управления технологическими процессами, оперативного контроля состояния процессов.

3. *Дополнительный контроль* – выполняется с целью получения дополнительной информации о сырье и продуктах переработки.

4. *Контроль работы технологического оборудования* – предназначен для анализа состояния и параметров работы оборудования.

Виды технического контроля в зависимости от необходимости могут выполняться с различной периодичностью.

Технический контроль минеральных продуктов при обогащении полезных ископаемых преимущественно направлен на обеспечение качества производимой товарной продукции (концентратов).

Организация и выполнение технического контроля на обогатительных фабриках является задачей отдела технического контроля (ОТК). Организационно ОТК входит в структуру предприятия, включающего в себя обогатительную фабрику, как независимое подразделение, подчиненное непосредственно директору или первому техническому руководителю (главному инженеру). В ряде случаев ОТК совместно с аналитической лабораторией входит в состав управления контроля качества (управления контроля качества продукции, контрольно-аналитического управления и т. п.) с аналогичным подчинением первым руководителям предприятия. На предприятиях со сложной и разветвленной организационно-штатной структурой функции ОТК могут быть разделены между несколькими подразделениями (отделами, службами, бюро), а ОТК как таковой может отсутствовать [5, 6, 7]. Функции ОТК по контролю процессов обогащения следующие:

1. Отбор, подготовка и передача на анализ проб исходного сырья и продуктов обогащения.

2. Хранение контрольных и арбитражных проб.

3. Обработка результатов опробования и предоставление этих результатов в соответствующей форме заинтересованным должностным лицам.

4. Составление технологического и товарного балансов.

5. Разработка технологической и рабочей документации по отбору и подготовке проб.

6. Контроль соответствия системы технического контроля требованиям действующей на предприятии системы управления качеством.

7. Обеспечение руководства предприятия необходимой информацией о показателях технологического процесса.

8. Контроль наличия и исправности технических средств отбора и подготовки проб.

9. Разработка предложений по совершенствованию технологии опробования.

10. Организация хранения готовой продукции.

11. Согласование результатов совместного опробования с поставщиками сырья и потребителями продукции.

Деятельность сотрудников ОТК регламентируется следующими основными документами:

1. Схема опробования.

2. Журнал опробования.

3. Инструкции по выполнению операций отбора и подготовки проб.

4. Инструкции по обработке результатов опробования, расчету показателей процесса переработки, подготовке документации.

5. Образцы выпускаемых (оформляемых в ОТК) документов.

Схема опробования изображается условными значками на действующей технологической схеме и задает точки отбора проб и виды анализа этих проб, исходя из задач, решаемых опробованием. Вид и форма условных значков на схеме опробования не регламентируются. Точки отбора проб на схеме нумеруются при помощи комбинации букв и цифр (например, ПО2, ПО16.1, ПО16.2, ПО4К, ПО4Т, 22К), либо одними цифрами (например, 12.1, 12.2, 12.3).

Журнал опробования дополняет схему опробования. В него вносится вся необходимая информация по отбору проб в каждой точке:

- назначение пробы;

- номер точки и ее название;

- вид отбора проб (ручной или механический);

- тип пробоотбирателя;

- масса точечной пробы;

- периодичность отбора или число точечных проб;

- масса объединенной пробы;

- вид доставки пробы (ручной или механический);

- периодичность передачи на подготовку и анализ объединенных проб.

Все инструкции ОТК составляются на основе действующей НТД: ГОСТов, ОСТов, ТУ, Правил безопасности и т. п. Инструкции составляются с учетом особенностей технологии и организации технического контроля каждой обогатительной фабрики. Инструкции должны быть исчерпывающими по смыслу и содержанию, в обязательном порядке должны содержать требования правил безопасности. Инструкции ОТК утверждаются первым техническим руководителем предприятия.

## **1.2. Нормативная база процессов опробования**

### **1.2.1. Нормативно-техническая документация процессов опробования продуктов обогащения. Стандарты на опробование**

Порядок осуществления технического контроля регламентирован системой нормативно-технической документации, включающей в себя взаимосвязанную по целям и критериям документацию [3, 6, 7, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22]:

#### *1. Государственный стандарт (стандарт, ГОСТ):*

ГОСТ является основным национальным стандартом на продукцию, нормы и правила, процессы и услуги.

ГОСТ разрабатывается и принимается на виды продукции, являющиеся объектом государственной стандартизации. Основная цель действия ГОСТов – обеспечение соответствующего предъявляемым критериям качества продукции.

#### *2. Отраслевой стандарт (стандарт, ОСТ):*

ОСТ является основным стандартом отрасли (области деятельности) на включенные в него виды продукции. ОСТы устанавливаются на виды продукции, которые являются объектами государственной стандартизации. При наличии ГОСТа на продукцию, включенную в ОСТ, положения этого ОСТА не противоречат положениям соответствующего ГОСТа.

Объектами отраслевой стандартизации могут быть виды продукции внутриотраслевого и (или) ограниченного применения. Действующие ОСТы обязательны к исполнению для всех предприятий и организаций отрасли, а также для предприятий других отраслей, потребляющих продукцию данной отрасли.

ОСТ утверждается федеральным органом исполнительной власти (министерством, службой, комитетом), который является ведущим в производстве данной продукции.

#### *3. Стандарт предприятия (СТП) или стандарт организации (СТО):*

СТП (СТО) является аналогом ОСТА для отдельного предприятия или объединения предприятий (холдинга).

#### *4. Технические условия (ТУ):*

ТУ являются документом, устанавливающим технические требования, которым должна соответствовать продукция. В ТУ также указывается алгоритм процедуры проверки продукции на соответствие установленным требованиям.

ТУ разрабатываются на один или несколько видов продукции, а также на ограниченное число единиц продукции или отдельный экземпляр продукции. ТУ разрабатываются по решению изготовителя продукции или по требованию потребителя продукции. Требования ТУ не должны противоречить обязательным требованиям соответствующих ГОСТов, ОСТов и СТП, распространяющихся на данную продукцию. Сами ТУ по своему составу, содержанию и оформлению должны соответствовать требованиям ГОСТ 2.114-95 [23].



ТУ на различные типы руд содержат следующие нормы:

- на массовую долю основных извлекаемых ценных компонентов – не менее установленной нормы;
- на массовую долю вредных примесей – не более установленной нормы;
- на крупность максимального куска – не более установленной нормы;
- на влажность – не более установленной нормы.

В ТУ на руды, как правило, приводятся требования безопасности при проведении опробования, правила приемки партий руд у поставщика и допускаемые методы определения массовой доли ценных компонентов и влажности. В некоторых случаях требования к качеству руд дополняются в СТП. В этом случае нормы соответствующих ТУ должны быть изменены в сторону увеличения качества руд, а также могут быть установлены новые нормы, отсутствующие в ТУ.

Требования к качеству концентратов нормируются в НТД на уровне ГОСТов. Обогастительными фабриками могут выпускаться концентраты нескольких марок. В этом случае на каждую марку концентрата устанавливаются свои нормы. В отдельных случаях требования к концентратам были установлены в соответствующих ТУ, утвержденных Министерством цветной металлургии СССР. Часть указанных ТУ на сегодняшний день либо имеет статус действующих, либо были переизданы с дополнениями и поправками в виде ГОСТов [24].

Большинство ГОСТов, устанавливающих требования к продуктам обогащения, разработаны и введены в действие в 60 – 70-е годы XX века, после чего срок их действия неоднократно продлялся, а в конечном итоге указанные НТД получили статус действующих бессрочно [14, 15, 16, 19]. В качестве примера ниже приведены данные по статусу действия ГОСТ 14180-80 «Руды и концентраты цветных металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги» [15]:

- ГОСТ 14180-80 введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам № 2766 от 13.06.1980 г. взамен ГОСТ 14180-69;
- переиздание ГОСТ 14180-80 выполнено в 1990 г. с учетом изменений № 1 и 2 от 1985 г.;
- срок действия ГОСТ 14180-80 продлен до 01.07.1995 г. Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам № 4128 от 26.12.1989 г.;
- ограничение срока действия ГОСТ 14180-80 снято в 1994 г.

Настоящий ГОСТ является основным действующим стандартом, устанавливающим требования к способам отбора и подготовки проб руд и концентратов цветных металлов.

### 1.2.2. Характеристики опробуемых массивов. Требования к опробуемым массивам

На обогатительных фабриках существует необходимость опробования нескольких разновидностей продуктов:

#### 1. Движущиеся продукты:

- непрерывные технологические потоки, перемещаемые механизированным транспортом (насосами и конвейерами);

- непрерывные технологические потоки, перемещаемые самотеком.

#### 2. Неподвижные продукты:

- добытые массы в таре, штабелях и технологических емкостях;

- концентраты в таре, штабелях и технологических емкостях.

Для решения разнообразных задач, связанных с получением (покупкой), переработкой и передачей (продажей) минерального продукта, на любом горно-обогатительном предприятии необходимо знать свойства этого продукта. Эти свойства приписываются всегда определенной части (порции) продукта, ограниченной в пространстве и времени. Это может быть некоторое количество руды, концентрата или другого минерального продукта, называемого партией, блоком, складываемой массой, отвалом и т. п., находящейся в контейнерах, вагонах, бункерах, складах, сгустителях, в карьерах после взрыва в виде отвала, в рудном теле в виде намечаемого к добыче блока и т. п. Эта часть продукта имеет границы в пространстве.

Но во многих случаях эта часть может находиться в движении в виде потока, для которого в пространстве ограничены только размеры сечения на конвейере или в трубопроводе, а границы, определяющие начало и конец массы, свойства которой необходимо знать, указать в пространстве нельзя. Но эти границы легко установить во времени, указав начало и конец интервала времени, в течение которого масса проходит некоторую точку в пространстве.

Несмотря на разнообразие опробуемых массивов, количество определяемых величин, необходимых для большинства работ, невелико, а именно:

- $M$  – влажная масса, а также сухая масса  $M_{\text{сух}}$ ;

- $W$  – влажность;

- $\alpha$  – массовая доля (устаревшее название «содержание»);

- $K$  – количество компонента в продукте (например, золы, золота, меди, асбеста).

Особенностью этих величин является то, что они характеризуют опробуемый массив в целом. Это значит, что масса  $M$  и  $M_{\text{сух}}$  и количество компонента  $K$  приписываются опробуемому массиву в установленных границах, а влажность и массовая доля являются его средними характеристиками.

Только одну из изложенных определяемых величин можно измерить непосредственно (это влажная масса  $M$ ).

Две величины – масса воды  $M_{\text{в}}$  и масса компонента  $K$  – могут быть определены взвешиванием, если они будут выделены полностью из опробуемого

массива. Это выделение из всего опробуемого массива или технически невозможно, или нецелесообразно. Обычно величины  $M_B$  и  $K$  неизвестны и рассчитать с их помощью влажность или массовую долю невозможно. Более того, эти величины сами определяются с помощью влажности и массовой доли расчетом:

$$M_B = M \cdot W;$$

$$M_{\text{сух}} = M \cdot (1 - W);$$

$$K = M_{\text{сух}} \cdot \alpha = M \cdot (1 - W) \cdot \alpha.$$

Влажность  $W$  и массовая доля  $\alpha$  должны быть определены другим путем. Этим путем является опробование.

Опробование – это технология получения информации о влажности  $W$  и массовой доле  $\alpha$ , состоящая в выделении из опробуемого массива его небольшой части – пробы – и измерении в пробе массы воды и компонента с последующим расчетом влажности и массовой доли компонентов.

Масса пробы, в отличие от массы опробуемого массива, обозначается буквой  $q$ .

Так как масса пробы позволяет определить непосредственно массу воды в ней  $q_B$  и массу любого компонента  $K$ , то становится возможным расчет относительных величин.

Особенностью опробования является то, что получаемые с помощью пробы значения влажности и массовой доли должны быть равными средним значениям этих величин для опробуемого массива.

### 1.2.3. Основные требования к процессам отбора и подготовки проб

Большинство нормативных документов, в соответствии с которыми производятся отбор и подготовка проб [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 26, 27], регламентируют процесс отбора и подготовки проб по массе (объему) точечной пробы, по количеству точечных проб, по массе (выходу) сокращенной пробы. Нормативной документацией регламентированы также устройство и параметры пробоотборного инструмента, методы отбора и подготовки проб, а также устанавливается алгоритм определения расчетных показателей процесса опробования.

*Масса точечной пробы* зависит от крупности опробуемого материала (размера максимального куска в пробе). В нормативных документах значения крупности материала и соответствующие им массы точечных проб обычно представлены в виде таблиц [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22]. Масса точечной пробы должна быть не менее массы, приведенной в соответствующей таблице нормативного документа.

Число точечных проб  $N_T$  зависит от массы опробуемой партии и характера распределения контролируемого компонента по опробуемому материалу. Характер распределения контролируемого компонента выражен в виде коэффициента вариации  $V$ , измеряемого в процентах. Коэффициент вариации определяется расчетным путем исходя из степени неоднородности опробуемого материала, которая, в свою очередь, находится экспериментально для партии материала. Согласно ГОСТ 14180-80 [15], минимальное количество точечных проб с учетом коэффициента вариации вычисляется по следующей формуле:

$$N_T = 0,075 \cdot V \cdot \sqrt{M}, \quad (1.1)$$

где  $V$  – коэффициент вариации, %;  $M$  – масса опробуемой партии, т.

Масса сокращенной пробы выражается в виде *минимальной массы пробы*  $q$ . Минимальная масса пробы зависит от крупности материала пробы и ее однородности (коэффициента вариации).

Наиболее распространенной формулой для определения минимальной массы пробы является эмпирическая зависимость, предложенная Чечоттом в 30-х годах XX века на основании экспериментальных данных Ричардса [6, 28, 29]:

$$q = k \cdot (d_{\max})^2, \quad (1.2)$$

где  $q$  – минимальная масса пробы, кг;  $k$  – коэффициент, зависящий от свойств опробуемого материала, а также неоднородности распределения контролируемого компонента;  $d_{\max}$  – максимальный размер куска (частицы) в пробе, мм.

Зависимость, получившая название формулы Ричардса-Чечотта, заложена в основу определения минимальной массы пробы в стандартах для различных видов полезных ископаемых, концентратов и техногенного сырья [3, 6, 7].

Требования к *конструкциям и параметрам пробоотборных устройств и инструментов* устанавливаются в нормативной документации исходя из критериев представительности и безопасности отбора и подготовки проб. Большинство стандартов предписывают использование механических пробоотборников и сократителей, отвечающих ряду требований. Для ручного отбора проб предусмотрено использование щупов и совков, а также вспомогательного инструмента [6, 7, 30, 31]. Для операций сокращения предписано использовать механические сократители различных конструкций, желобчатые делители, ручное сокращение методом «кольца и конуса» и методом «квадратования» [14, 15, 16, 21, 32, 33].

ГОСТы и иные нормативные документы, как правило, предусматривают экспериментальное определение погрешности опробования (сокращения) и (или) показателя воспроизводимости результатов анализа подготовленных проб [14, 15, 18, 21, 34, 35]. Примером экспериментального определения погрешности опробования является «Методика экспериментального оценивания погрешности опробования продукции при контроле качества партий по содержанию металлов», предписанная ГОСТ 14180-80 [15].

Имеется богатый зарубежный опыт стандартизации процессов отбора и подготовки проб. Обобщающим является «горизонтальный стандарт» по

представительному опробованию DS 3077:2013 «Representative sampling – Horizontal standard» [36], развивающий общие международные стандарты ISO 11648-1(2) «Statistical aspects of sampling from bulk materials – Part 1: General Principles; Part 2: Sampling of particular materials» [37]. В указанном документе собраны требования по отбору проб, требования по подготовке проб и требования по анализу проб, содержащиеся в ряде других действующих стандартов. Отечественные стандарты на опробование обычно объединяют в себе требования как к отбору, так и к подготовке проб [3, 14, 15].

Похожие требования существуют в зарубежных стандартах на опробование руд и концентратов. В частности, алгоритм определения минимальной массы и числа точечных проб, требования к оборудованию и инструменту изложены в стандарте ISO 12743:2018 «Copper, lead, zinc and nickel concentrates – Sampling procedures for determination of metal and moisture content» [38], методика экспериментального определения случайных погрешностей опробования представлена в стандартах ISO 12744:2006 (E) «Copper, lead, zinc and nickel concentrates – Experimental methods for checking the precision of sampling» [39] и ISO 13292:2006 (E) «Copper, lead, zinc and nickel concentrates – Experimental methods for checking the bias of sampling» [40].

Современные требования к порядку и алгоритмам определения показателей точности методов измерений и результатов измерений оговариваются отдельным нормативным документом ГОСТ Р ИСО 5725-1, 2, 3, 4, 5, 6-2002 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений» [35]. Этот современный отечественный стандарт является полным аутентичным переводом международного стандарта ISO 5725. Он устанавливает алгоритмы выполнения экспериментов по оценке статистических величин – повторяемости, воспроизводимости, прецизионности, правильности – результатов измерений. Содержание отечественного и международного стандартов демонстрирует, что современное состояние нормативной базы по обработке результатов измерений основано на известных метрологических подходах по экспериментальному оцениванию случайной и систематической погрешностей с акцентом только на результаты измерений. Особенности отбора и подготовки образцов (проб) при этом не учитываются. В тексте ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 указано, что «...стандарт может быть применен к очень широкой номенклатуре материалов, включая жидкости, порошки и твердые объекты, произведенные или существующие в природе при условии, что учитывают любую неоднородность материала». Таким образом, стандартом допускается, что измерения выполняются с заранее учтенной неоднородностью материала в широком диапазоне, при этом алгоритм определения неоднородности материала и ее учета в стандарте отсутствует.

То же можно отнести к стандарту ГОСТ Р ИСО 11648-1, 2-2009 «Статистические методы. Выборочный контроль нештучной продукции». Документ является дословным переводом соответствующего стандарта ISO и характеризуется теми же недостатками, что и ГОСТ Р ИСО 5725-1, 2, 3, 4, 5, 6-2002 [37].

### 1.2.4. Контроль качества продуктов обогащения

Согласно международному стандарту ИСО-8402 [34] *качество продукции* – это совокупность свойств и характеристик продукции, которые придают ей способность удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности. На этом основании качеством продукции считается совокупность свойств этой продукции, характеризующих ее пригодность к применению по назначению [7, 41]. *Контроль качества продукции* – это контроль заданных количественных или качественных характеристик продукции. Качественные характеристики продукции, подвергаемые контролю, называются *показателями качества* [7, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 35, 41].

Контроль качества продуктов обогащения состоит в получении информации о технологических характеристиках продуктов и сравнении их с необходимыми для получения результата величинами в соответствии с установленным алгоритмом. Система контроля качества продуктов обогащения, существующая на обогатительных фабриках, объединяет в себе функции получения, сбора, накопления, систематизации и хранения информации о результатах опробования. Система контроля качества продуктов обогащения является неотъемлемой частью общей системы управления обогатительной фабрикой и всем предприятием, в состав которого входит обогатительная фабрика (рудоуправлением, горно-обогатительным комбинатом, горно-металлургическим комбинатом). Система контроля качества продуктов обогащения представляет собой совокупность организационной структуры, процессов, методик и инструментов контроля, функционирующих совместно с целью обеспечения заданных технологических показателей.

В зависимости от назначения и порядка использования результатов опробование подразделяется на технологическое и товарное.

*Технологическое опробование* предназначено для получения оперативной информации о процессе обогащения в течение короткого периода работы обогатительной фабрики (смена, сутки). На основании данной информации составляется технологический баланс по контролируемым компонентам, выполняется управление процессами обогащения, а также контролируется состояние технологического оборудования обогатительной фабрики [6, 7].

*Технологический баланс* – это расчетный способ определения трудноизмеряемых показателей потоков продуктов на обогатительных фабриках по известным величинам [6, 7, 42, 43, 44, 45].

К трудноизмеряемым показателям относятся следующие продукты:

- выход концентрата  $\gamma_{\beta}$ ;
- выход хвостов  $\gamma_{\alpha}$ ,
- извлечение  $\varepsilon$  (расчетный показатель).

Известные величины для расчета технологического баланса являются легкоизмеряемыми:

- массовая доля компонента в руде  $\alpha$ ;

- массовая доля компонента в концентрате  $\beta$ ;
- массовая доля компонента в хвостах  $\vartheta$ .

Легкоизмеряемые величины определяются по результатам опробования указанных продуктов.

Расчет величины  $\gamma_{\beta}$ ,  $\gamma_{\vartheta}$  проводится с использованием уравнений материального баланса. Уравнения материального баланса должны выполняться для любых компонентов потока кусковой руды либо пульпы.

*Товарное опробование* применяется для получения информации о поступлении исходного сырья и выпуске готовой продукции за отчетный период (декада, месяц, квартал, год). Эта информация используется для составления товарного баланса по контролируемым компонентам [46, 47, 48], расчета технико-экономических показателей работы обогатительной фабрики, взаимных расчетов с поставщиками исходного сырья и потребителями готовой продукции.

*Товарный баланс* – это отчет о поступлении на обогатительную фабрику исходного сырья, выпуске концентратов, хвостов и других учитываемых продуктов обогащения, а также накоплении продуктов в емкостях фабрики в виде незавершенного производства – продуктов в бункерах, складах, сгустителях [46, 49, 50, 51, 52].

Истинные величины погрешностей результатов опробования на обогатительных фабриках можно выявить, сопоставляя массы продуктов, поступивших в схему обогащения с массами продуктов, вышедших из схемы обогащения. Такую возможность дает товарный баланс.

Товарный баланс в подавляющем большинстве случаев составляется по состоянию на начало календарного месяца, который является отчетным периодом для обогатительной фабрики и контрольным периодом для расчета накопленных показателей. В товарном балансе приводятся все необходимые данные для расчета показателей баланса ценных компонентов:

- массы всех учитываемых продуктов  $M$ ;
- влажность всех учитываемых продуктов  $W$ ;
- массовые доли ценных компонентов  $\alpha$  во всех учитываемых продуктах.

Масса какого-либо  $i$ -го компонента в каком-либо  $j$ -м продукте вычисляется по следующей формуле:

$$K_{ij} = M_j \cdot (1 - W_j) \alpha_{ij}. \quad (1.3)$$

Для обогатительной фабрики самостоятельное значение имеют сами приведенные выше показатели – массы продуктов и компонентов, массовые доли компонентов за контрольный период. Эти показатели в абсолютном выражении используются для всех видов технологических и экономических расчетов. Используемые в товарном балансе данные должны быть получены строго в соответствии с действующими на обогатительной фабрике инструкциями и методиками, составленными на основании действующей НТД. Получение этих данных фиксируется актами и справками утвержденной формы [6, 7, 46].

Определение массовой доли ценных компонентов для товарного баланса выполняется по результатам *товарного опробования* (опробования на балансовых точках). Товарным опробованием называется опробование всех исходных продуктов, входящих в технологическую схему обогащения и всех конечных продуктов, выходящих из технологической схемы. Часть технологической схемы обогатительной фабрики, ограниченная точками товарного опробования, в технической документации, на схемах опробования и в соответствующих документах системы качества может быть названа балансовым контуром или зоной составления товарного баланса. В качестве примера на рисунке 1.1 приведена схема опробования продуктов балансового контура медно-никелевой обогатительной фабрики [5].

Период работы обогатительной фабрики, за который накапливается и обобщается информация о результатах опробования, называется *контрольным периодом*.

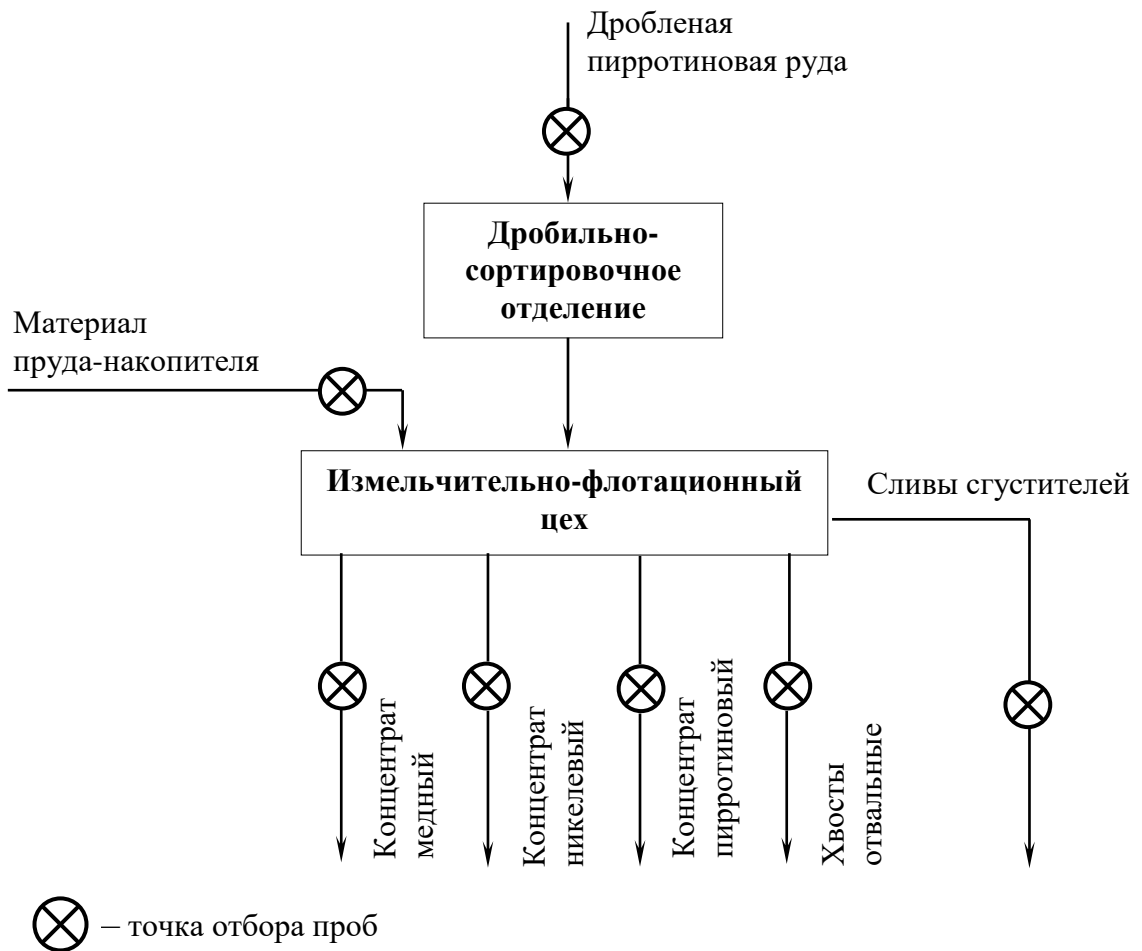


Рисунок 1.1 – Схема опробования продуктов обогащения балансового контура медно-никелевой обогатительной фабрики



Таблица 1.1 – Основные продукты обогащения и показатели качества для технологического опробования

Наименование продукта обогащения	Контрольный период	Показатели качества
Исходная руда после последней стадии дробления	Смена	Влажность Массовая доля заданного класса крупности
Слив рудных гидроциклонов	Смена	Массовая доля основных ценных компонентов Массовая доля готового класса крупности
	Экспресс-контроль	Массовая доля основных ценных компонентов Массовая доля твердого (плотность пульпы)
Промежуточные продукты	Экспресс-контроль	Массовая доля основных ценных компонентов Массовая доля твердого (плотность пульпы)
Технологический концентрат	Смена	Массовая доля основных ценных компонентов
Технологический концентрат	Экспресс-контроль	Массовая доля основных ценных компонентов
Слив сгустителя	Смена	Массовая доля основных ценных компонентов Массовая доля твердого (плотность пульпы)

Таблица 1.2 – Основные продукты обогащения и показатели качества для товарного опробования

Наименование продукта обогащения	Контрольный период или объем партии	Показатели качества
Исходная руда	Смена	Массовая доля основных ценных компонентов, попутных компонентов, компонентов-примесей Влажность Крупность
Слив рудных гидроциклонов	Смена	Массовая доля основных ценных компонентов, попутных компонентов, компонентов-примесей Массовая доля готового класса крупности
Товарный концентрат	Смена Отгружаемая партия	Массовая доля основных ценных компонентов, попутных компонентов, компонентов-примесей Влажность Крупность по заданному классу
Отвальные хвосты	Смена	Массовая доля компонентов, по которым составляется товарный баланс

Перечень основных продуктов обогащения и контролируемые показатели их качества для технологического опробования приведены в таблице 1.1, для товарного опробования – в таблице 1.2. Также в таблицах 1.1 и 1.2 приведена величина контрольного периода, представленного одним результатом опробования (накопленным или единичным).

Целью контроля показателей качества является проверка соответствия продуктов обогащения установленным требованиям. Контроль показателей качества продуктов обогащения включает в себя выполнение всей последовательности операций опробования с целью получения показателей качества, соответствующих их истинному значению с заданной погрешностью [3, 6, 7, 32, 43, 53, 54].

Требования к качеству продуктов обогащения устанавливаются на основании технологических и экономических показателей процесса обогащения, качества исходных руд, требований НТД и условий соглашения о поставке товарных концентратов потребителям.

При выполнении технологического опробования не всегда используются накопленные показатели – экспресс-контроль может выполняться один раз в 30 – 60 минут, при этом результаты такого контроля не объединяются за контрольный период. Основным контрольным периодом опробования, за который определяются накопленные показатели, является смена. Масса исходной руды, переработанная за смену, считается партией [3, 6, 7, 14, 15, 19]. На некоторых обогатительных фабриках за контрольный период приняты сутки – это, в частности, может быть обусловлено режимом работы добывающих руду подразделений (рудников) и особенностями работы корпусов дробления. Так, например, за партию переработанной руды на ТОФ принимается объем руды, поступившей на переработку за сутки [3, 5].

### 1.2.5. Погрешности результата опробования

Регламентирующие процедуру опробования стандарты основаны на учете двух погрешностей результата опробования – *систематической и случайной*.

*Систематическая погрешность* – составляющая погрешности результата опробования, изменяющаяся систематическим образом в серии повторных определений, проведенных в одних и тех же условиях – это разность между средним результатом измерения, полученным многократным опробованием, и истинным значением массовой доли.

Если систематическая погрешность приемлема (допустима), т. е. – не превышает допустимой величины, опробование называют *правильным*.

При опробовании необходимо получение результата с минимальной систематической погрешностью. При этом равенство этой погрешности нулю фактически недостижимо. Тогда условием правильного опробования будет считаться стремление величины систематической погрешности  $\Delta\alpha_{\text{сист}}$  к нулю ( $\Delta\alpha_{\text{сист}} \rightarrow 0$ ).

Систематическая погрешность обнаруживается при повторных определениях одного и того же параметра в виде закономерного повторяющегося отклонения получаемых результатов. Систематическая погрешность может быть устранена полностью или уменьшена до незначимого уровня. Систематическая погрешность при опробовании продуктов обогащения связана с нарушением принципов правильного опробования [6].

Причины возникновения систематических погрешностей постоянны. Наличие различия между средним арифметическим числом  $N$  проб (измерений) и истинным значением  $\alpha$  не позволяет сделать вывод о наличии и величине систематической погрешности, так как в величину  $\Delta\alpha$  входит также и случайная погрешность:

$$\Delta\alpha = \bar{\alpha}_{\text{пр}} - \alpha = \Delta\alpha_{\text{сист}} + \Delta\alpha_{\text{сл}}. \quad (1.4)$$

Это означает, что вывод о наличии систематической погрешности приходится делать с учетом действия неустранимой случайной погрешности.

Второй особенностью расчета  $\Delta\alpha$  является неизвестность истинного значения величины  $\alpha$  для опробуемого массива. Для сравнения приходится принимать другой результат опробования, считающийся опорным. Разность  $\Delta\alpha$  составит

$$\Delta\alpha = \bar{\alpha}_{\text{пр1}} - \bar{\alpha}_{\text{пр2}} = \Delta\alpha_{\text{сист1}} + \Delta\alpha_{\text{сл1}} - \Delta\alpha_{\text{сист2}} + \Delta\alpha_{\text{сл2}}. \quad (1.5)$$

Наличие систематической погрешности определяется в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 на основании неравенства

$$\Delta\alpha > 2,8S_{\bar{\alpha}}.$$

Если неравенство не выполняется, то считается, что предполагаемая причина и величина возможной систематической погрешности не установлены.

В практических условиях выполнения опробования обычно бывает затруднительно определить, существует или не существует систематическая погрешность: возможных причин ее возникновения может быть много, при этом эталонов для проверки правильности опробования не существует. В таких условиях правильное опробование обеспечивается за счет соблюдения фундаментальных принципов опробования [6, 7, 55].

*Случайная погрешность* результата опробования – составляющая погрешности результата опробования, изменяющаяся случайным образом в серии повторных определений, проведенных в одних и тех же условиях.

Случайные погрешности неизбежны, неустранимы и всегда присутствуют в результате опробования. Случайная погрешность определяет степень близости

друг к другу отдельных результатов опробования одного и того же опробуемого массива одним и тем же способом (методикой) опробования.

Случайная погрешность результата опробования может быть рассчитана теоретически на основании данных о физических свойствах продукта, его фазовом составе и количественных параметрах схемы опробования [6, 7, 32, 56, 57].

Общая случайная погрешность результата опробования складывается из случайных погрешностей отдельных операций опробования: отбора пробы, подготовки пробы и анализа пробы. Особенностью случайной погрешности является то, что погрешности последовательно выполняемых операций могут только складываться. Обычно складываются квадраты среднеквадратичных отклонений погрешностей (дисперсии массовой доли). Тогда среднеквадратичная погрешность результата опробования (дисперсия массовой доли)  $S_\alpha$  будет описана формулой

$$S_\alpha^2 = S_{\text{от}}^2 + S_{\text{под}}^2 + S_{\text{ан}}^2. \quad (1.6)$$

где  $S_{\text{от}}$  – случайная погрешность (дисперсия массовой доли) операции отбора пробы;  $S_{\text{под}}$  – случайная погрешность (дисперсия массовой доли) операции подготовки пробы;  $S_{\text{ан}}$  – случайная погрешность (дисперсия массовой доли) операции анализа.

*Правильность* результата опробования определяется величиной систематической погрешности.

Если случайная погрешность опробования  $\Delta\alpha_{\text{сл}}$  по абсолютной величине не превышает предела воспроизводимости, опробование называется *достоверным*.

Условие достоверного опробования следующее:

$$|\Delta\alpha_{\text{сл}}| \leq 2 S_\alpha.$$

Правильное и достоверное опробование называется *представительным*.

Результаты расчета случайной погрешности и возможности их снижения для характерных продуктов, содержащих различные контролируемые компоненты, приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Реальные и возможные случайные погрешности результата опробования минеральных и техногенных продуктов

Наименование продукта (сырья)	Крупность опробуемого продукта (сырья), мм	Наименование контролируемого компонента	Массовая доля контролируемого компонента	Относительная случайная погрешность результата опробования, %	
				существующая схема опробования	возможная схема опробования
Шламы электролиза	-0,1	платина	1,60 %	23,77	4,16
		палладий	4,20 %	23,76	4,04
Медно-никелевые руды	-100,0	медь	2,10 %	3,10	2,42
		никель	3,15 %	2,80	2,23
Медно-цинковые сульфидные руды	-0,1	медь	1,68 %	5,80	4,65
		цинк	3,80 %	6,92	5,09
Хвосты обогащения медно-цинковых руд	-0,1	медь	0,30 %	20,50	13,10
		цинк	0,75 %	15,30	8,67
Золотосодержащие руды	-3,0	золото	3,60 г/т	13,90	7,81
Катализатор процесса риформинга	-5,0	платина	0,27 %	8,92	3,04
Шлак чугуноплавильного производства	-250,0	металлические включения (вредная примесь)	17,70 %	13,60	5,74
Асбестовая руда	-130,0	асбестовое волокно	3,50 %	18,90	10,61

Полное устранение случайной погрешности результата опробования невозможно, а возможно только ее снижение до приемлемого уровня. На основании выполненных расчетов установлено, что наибольший вклад в величину общей случайной погрешности результата опробования вносят операции отбора точечных проб и подготовки лабораторных проб. Следовательно, для снижения общей случайной погрешности необходимо выбирать схемы опробования, устанавливающие отбор большего количества точечных проб и выполнение операций подготовки проб при меньшей крупности [3, 6, 42, 46, 57, 58, 59]. Такие схемы не всегда удается реализовать на практике, так как целью оптимизации процессов опробования по случайной погрешности является снижение этой погрешности с учетом возможности практического выполнения предложенных изменений. Это означает, что существует определенный предел, до которого возможно усложнять схему опробования, увеличивать ее аппаратное наполнение и трудозатраты. В таблице 1.3 также приведены примеры снижения случайной погрешности результата опробования с различной практической эффективностью для различных продуктов переработки на действующих обогатительных фабриках. Из рассмотренных восьми продуктов по шести из них имеет смысл проводить работу по изменению схем опробования с целью снижения случайной погрешности, так как возможно ее снижение в два и более раз. Относительно медно-никелевых и медно-цинковых сульфидных руд мероприятия по снижению случайных погрешностей не приведут к значимым результатам, так как в существующих условиях опробования на действующих обогатительных фабриках погрешности близки к минимально-возможным [3, 5, 6, 15, 18, 57, 58, 60].

### **1.3. Современное состояние процессов опробования на обогатительных фабриках**

#### **1.3.1. Общая схема опробования. Получение результата опробования**

Процесс опробования представляет собой многооперационную технологическую процедуру [6, 7, 26, 32, 43], которая включает в себя отбор, подготовку и анализ проб (рисунок 1.2).

Процедура опробования начинается с отбора точечных проб. Проба, отобранная в одной точке опробуемого массива, называется точечной. Точечная проба должна иметь тот же гранулометрический состав, что и опробуемый массив, а ее масса должна быть достаточной для определения массовых долей компонентов с допустимой случайной погрешностью. Если опробуемый массив тщательно перемешан (усреднен), то одной точечной пробы должно быть достаточно для решения задачи опробования всего массива. На практике опробуемые массивы обычно неоднородны – не перемешаны. Это означает, что отдельные части – элементы опробуемого массива – отличаются друг от друга. Для опробования таких массивов необходимо отбирать столько точечных проб,

сколько выделено элементов опробуемого массива, и сформировать из точечных проб объединенную пробу. Только объединенная проба является представительной пробой для неоднородных массивов.

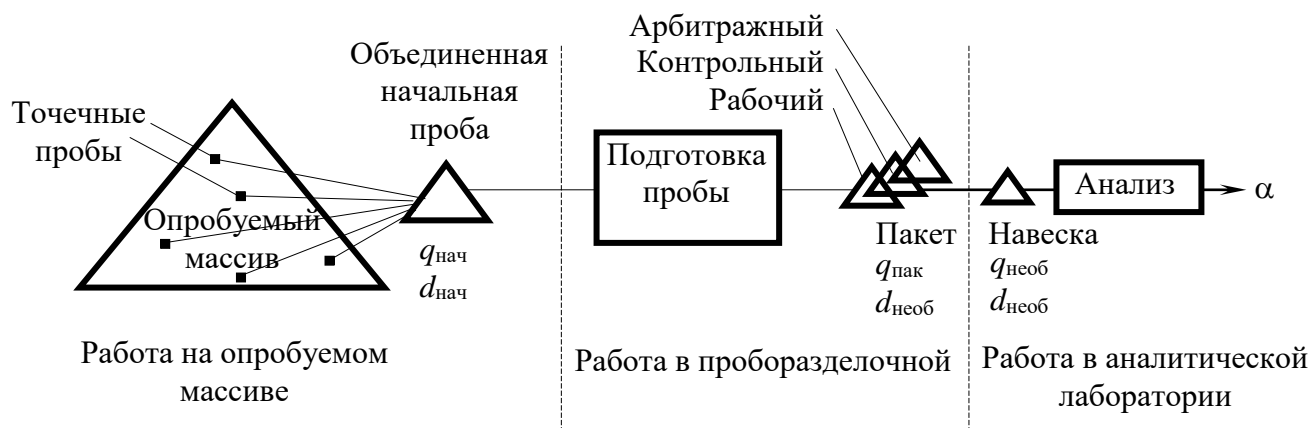


Рисунок 1.2 – Общая схема процесса опробования

Представительная объединенная проба, передаваемая на последующую пробоподготовку, называется *начальной пробой*.

Начальная проба обычно имеет крупность и массу большую, чем необходимо для выполнения анализа:

$$d_{нач} > d_{необ};$$

$$q_{нач} > q_{необ}.$$

Эти параметры пробы необходимо изменить (уменьшить). Уменьшение крупности пробы достигается ее дроблением, измельчением и истиранием. Уменьшение массы пробы достигается за счет ее сокращения.

Технологические схемы опробования могут быть различными. Полная технологическая схема процесса отбора и подготовки проб приводится в стандартах на опробование [3, 6, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 33]. На практике технологические схемы отбора и подготовки проб адаптируются под каждую из точек опробования с учетом крупности и влажности опробуемого продукта, а также целей и назначения опробования (рисунок 1.3).

После обработки результатов анализа по указанным в методиках измерений правилам выдается результат опробования – массовая доля контролируемого (ценного) компонента.

Такая технология опробования имеет широкое распространение, при этом она отличается значительной продолжительностью по времени, высокими трудозатратами и требует применения разнообразного оборудования. Общей тенденцией в части совершенствования технологии опробования является разработка схем опробования с максимально-возможной механизацией и автоматизацией выполняемых операций. Принципиальное изменение технологии

опробования возможно с разработкой технических средств анализа точечных проб непосредственно в опробуемом массиве без их физического изъятия из массива. Такое изменение технологии опробования приводит к резкому уменьшению трудозатрат и повышает оперативность получения результата опробования. Тем не менее, использование аналитических приборов, анализирующих точечные пробы непосредственно в опробуемом массиве, имеет свои особенности и недостатки [6, 33, 56, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67], ограничивающие сферу их применения.

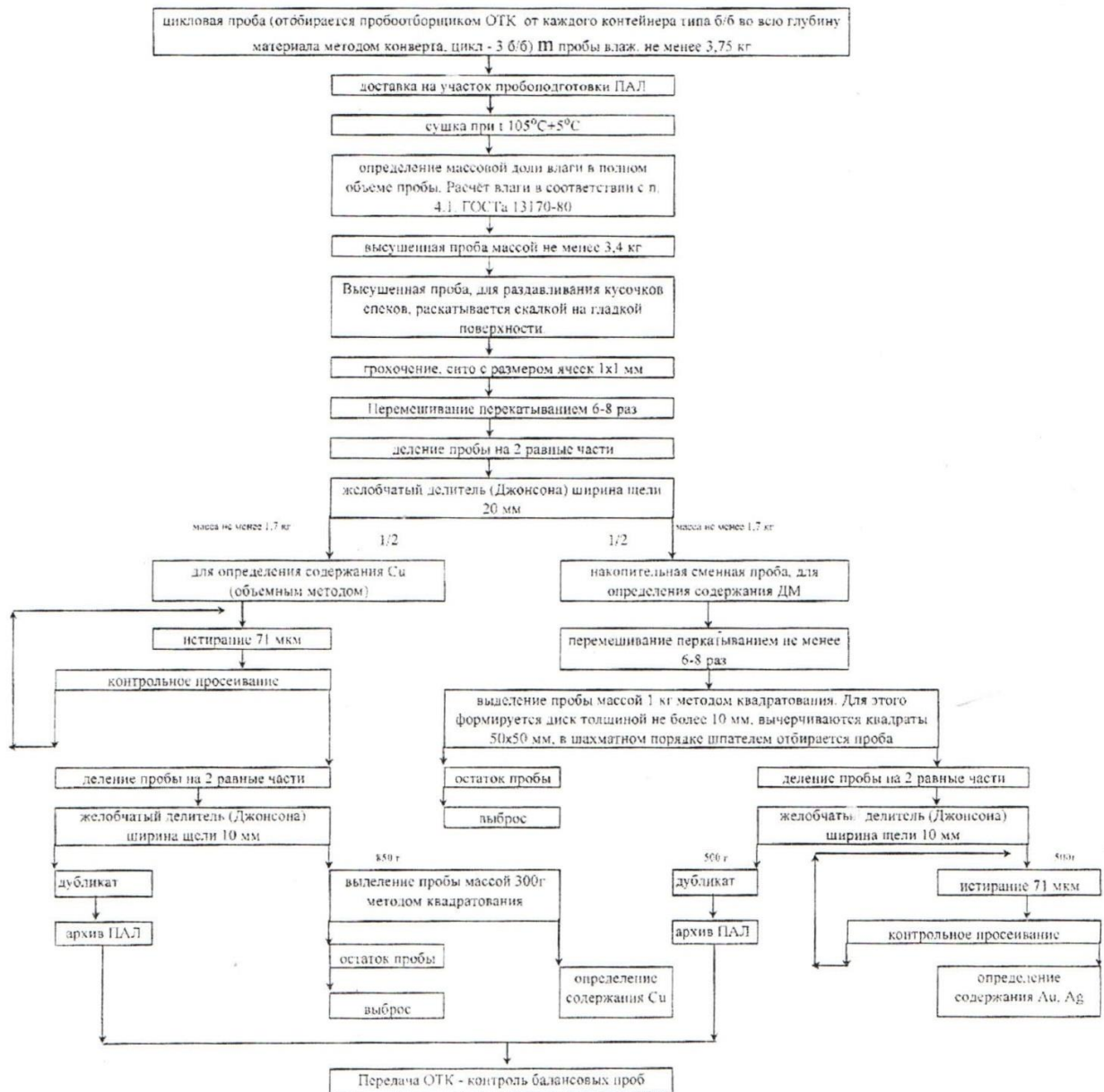


Рисунок 1.3 – Технологическая схема отбора и подготовки проб медного концентрата

### 1.3.2. Практика опробования продуктов обогатительных фабрик

Для отбора и подготовки проб применяется инструмент и оборудование различного устройства и принципа действия [6, 7, 30, 31, 32, 33, 68, 69, 70, 71].



В настоящее время только в Российской Федерации и странах ближнего зарубежья действует более 300 предприятий горно-обогатительного и металлургического профиля. Основная масса этих объектов введена в эксплуатацию 50 – 70 лет назад, модернизация производства осуществлялась в 80-х годах XX века и 00 – 10-х годах XXI века. Модернизация проходила преимущественно на основных мощностях, тогда как вспомогательные и обслуживающие сегменты производства она почти не затрагивала. Одной из проблем, остро стоящих на большинстве упомянутых предприятий, является недостаточное техническое оснащение подразделений технического контроля и аналитических служб.

В последние 10 – 15 лет на волне подъема сырьевой и перерабатывающей промышленности лаборатории многих предприятий стали оснащаться новым аналитическим оборудованием и программным обеспечением. На рынке аналитического оборудования и сервисных услуг России и ближнего зарубежья активно работает ряд отечественных и зарубежных компаний.

При указанной положительной тенденции оснащение и организация производства отделов технического контроля оставляет желать лучшего. Так, например, отбор проб от технологических потоков может осуществляться вручную непосредственно из емкостей или с конвейерной ленты. Ручной или маломеханизированный труд преобладает и на стадии подготовки проб. Поэтому вопросы механизации процессов опробования и контроля качества исходного сырья, продуктов переработки и отходов крайне актуальны.

В подразделениях ОТК и на участках опробования основная часть операций по усреднению и сокращению больших проб (до нескольких тонн) производится вручную способом «кольца и конуса». Сокращение проб производится также вручную методом квадратования. Такой способ опробования и отбора проб допускается нормативными документами и внутренними инструкциями предприятия, но высокой точностью и представительностью он не обладает. Ручное усреднение и сокращение больших партий материала трудоемко и низкопроизводительно. Точность и представительность процесса зависит от «человеческого фактора» – добросовестности и ответственности работника.

На действующих обогатительных фабриках возможно выделить четыре группы объектов (продуктов) для опробования, каждая из которых требует применение оборудования различного устройства, принципа действия, типоразмера и взаимной компоновки:

- сыпучие кусковые продукты;
- пульповые продукты;
- отфильтрованные продукты.

Группы продуктов отличаются друг от друга двумя основными характеристиками – крупностью и влажностью. Эти характеристики имеют определяющее значение для реализации технологии опробования, а также для выбора инструментов и оборудования.

Отбор точечных проб от крупнокусковых продуктов связан с появлением значимых погрешностей всех видов [3, 6, 72, 73, 74, 75, 76].

Ручной отбор проб крупнокусковых продуктов характеризуется высокой сложностью выполнения. Кусок руды средним размером 300 мм весит 50 – 80 кг, и выполнять любые операции вручную с такими кусками фактически невозможно. Поэтому для ручного отбора проб используются лопаты или скребки шириной 200 – 250 мм, при помощи которых отбираются в пробу более мелкие куски. В ряде случаев выполняется отбивание мелких кусков от крупных при помощи молотка (способ «молотка и совка»). Ручной отбор проб от крупнокусковых продуктов неизбежно выполняется с нарушением принципов *правильного* опробования, и результат опробования будет сопровождаться систематической погрешностью.

В ПАО «ГМК «Норильский никель» выполняется ручное опробование руды крупностью более 500 мм на рудниках, а затем *правильное* механизированное опробование этой же руды после первой стадии дробления на ГОФ. Ручное опробование дает систематическое завышение массовой доли никеля в руде в среднем за три месяца на 12,3 % относительных и меди на 4,6 % относительных [5]. На Донском ГОКе АО «ГМК «Казхром» при опробовании хромовых руд крупностью минус 300 мм массовая доля оксида хрома завышается на 5,2 % относительных [3, 72].

Ручной отбор проб для постоянно действующих точек опробования не предусмотрен современными Правилами безопасности, и его использование, даже с соблюдением необходимых дополнительных мер безопасности (в частности, путем отбора проб с ленты остановленного конвейера), является нарушением Правил безопасности [3, 6, 77]. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору введены в действие «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». В указанном документе отбор проб регламентируется правилом № 1269: «Отбор проб должен осуществляться механическими пробоотборниками в автоматическом режиме или дистанционно управляемыми. Отбор проб для наладки технологии непериодического опробования может производиться в ручном режиме, в установленных точках технологической схемы, определяемых техническим руководителем организации. Места (площадки) для ручного отбора проб должны соответствовать требованиям безопасности, иметь местное освещение».

Существуют примеры механизированного отбора проб крупнокусковых продуктов. Установки так называемого головного опробования создавались и внедрялись на некоторых обогатительных фабриках [5, 70, 72, 73, 76, 78]. Из действующих установок головного опробования отдельно можно выделить установку опробования асбестовой руды крупностью минус 130 мм на потоке производительностью более 1 000 т/ч (ПАО «Ураласбест»). Отбор проб выполняется ковшовым пробоотбирателем, масса точечной пробы составляет 800 килограммов. Объединенная проба массой 32 000 килограммов обрабатывается в технологической линии, включающей две щековые дробилки и несколько секторных сократителей.

Другая установка головного опробования спроектирована и установлена на ТОФ (ПАО «ГМК «Норильский никель») на потоке руды крупностью минус 100 мм. Отбор проб выполняется методом поперечного пересечения ковшовым пробоотбирателем. Отсекающий ковш пробоотбирателя перемещается поперек толщины свободнопадающего опробуемого потока путем поворота вокруг горизонтальной оси. Подбором траектории перемещения ковша обеспечена *правильность* отбора точечных проб. Далее выполняется дробление и измельчение отобранных проб в щековой дробилке и шаровой мельнице, после чего выполняется их механизированное сокращение в секторном сократителе.

Установки головного опробования также созданы для опробования угля крупностью до 300 мм. Они состоят из пробоотбирателя и проборазделочной машины [6, 7, 32, 43, 72].

Отдельные лотковые пробоотборники применяются на Донском ГОКе для отбора проб от потоков крупностью минус 160 мм [72].

Общий интерес к созданию установок опробования крупнокусковых руд в горно-обогатительной отрасли сохраняется, но при этом отдельные разработки являются уникальными и предназначены для решения целевых отдельных задач опробования, не повторяющихся на других предприятиях. Установки для опробования крупнокусковых руд являются сравнительно сложными в технической и эксплуатационной части, но их разработка и внедрение теоретически возможны для большинства действующих обогатительных фабрик по индивидуальным проектам. Так как в мировой практике руды не обогащаются в крупности более 300 мм [1, 2, 5, 57, 70, 72, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83], предельным размером кусков опробуемой руды для любой из действующих обогатительных фабрик следует считать величину 300 мм.

При возможности отбор проб должен выполняться от руды в минимальной крупности. Так, на обогатительной фабрике Качканарского ГОКа (АО «ЕВРАЗ КГОК») поступает руда крупностью 1200 мм, при этом установка головного опробования руды смонтирована на потоке дробленной руды крупностью минус 40 мм. Точечная проба руды в такой крупности массой 80 килограммов после отбора сразу подается на сокращение, после чего сокращенная проба измельчается до крупности минус 1 мм и снова сокращается до лабораторной пробы.

Трудоемкость отбора проб резко снижается с уменьшением крупности опробуемого массива (в т. ч. потока руды). Так как в подавляющем большинстве случаев на обогатительных фабриках руда дробится и измельчается, то основным мероприятием по упрощению операции отбора проб является назначение такой точки отбора, в которой руда имеет наименьшую крупность. При этом до назначенной точки отбора проб не должно происходить изменения состава руды за счет добавления в нее других материалов либо вывода части руды из общего потока.

Представительное опробование «неподвижных» продуктов любой крупности возможно путем перелопачивания или перегрузки, так как для отбора проб допустимо использовать горную погрузочно-разгрузочную технику (в т. ч. –

экскаваторы). Наглядным примером качественного опробования партий золотой руды с кусками крупностью до 50 мм с относительной погрешностью 6 % (без погрешности анализа) является система опробования, функционирующая на Алмалыкском ГОКе (АО «Алмалыкский ГМК»). Начальная проба отбирается после разгрузки руды из железнодорожного состава путем перелопачивания с использованием автомобильных погрузчиков [6].

Большая часть установок головного опробования, указанных в примерах, обеспечивают *правильный* отбор проб, т. е.  $\Delta\alpha_{\text{сист}} = 0$ .

В связи с асимметрией распределений массовой доли в точечных пробах возникают специфические погрешности – ВСП и методическая погрешность. Эти погрешности появляются при использовании схем опробования с относительно небольшим числом точечных проб (например, одна проба в час), а также при использовании небольших масс навесок при анализе.

При отборе начальной (объединенной) пробы начальная масса  $q_{\text{нач}}$  зависит от массы точечной пробы  $q_{\text{T}}$  и числа точечных проб  $N_{\text{T}}$  [19]:

$$q_{\text{нач}} = q_{\text{T}} \cdot N_{\text{T}} \cdot \quad (1.7)$$

Масса точечной пробы зависит от используемого для ее отбора пробоотбирателя и способа отбора (или анализа – при инструментальном анализе точечных проб). Поэтому масса точечной пробы может быть различной: от малой до весьма большой [5, 6, 57, 70, 71, 84, 85, 86].

Число точечных проб зависит от массы точечной пробы. Чем меньше масса точечной пробы, тем больше дисперсия точечных проб и, следовательно, требуемое число точечных проб при одной и той же случайной погрешности отбора объединенной пробы [6, 7].

Во многих случаях число точечных проб также определено условиями их отбора или анализа, например, периодичностью анализа проб в системах с использованием автоматических анализаторов [6, 7, 66, 87, 88, 89, 90, 91].

В итоге опробование крупнокусковых руд может быть выполнено по одному из нескольких вариантов, зависящих от технического обеспечения системы опробования, массы и числа точечных проб.

Механизированный отбор проб от потоков крупнокусковых продуктов выполняется преимущественно с применением ковшовых и лотковых пробоотборников [3, 6, 7, 43, 72, 79, 92]. Отбор точечной пробы такими пробоотборниками выполняется способом полного поперечного пересечения движущегося потока. В виде исключения на обогатительных фабриках встречаются пробоотборники шибберного типа, отклоняющие падающий поток на непродолжительное время, формируя таким образом точечную пробу. Почти во всех случаях такие пробоотборники не являются серийными, а разработаны и изготовлены силами самих предприятий. Типовые (серийные) пробоотборники для крупнокусковых продуктов разработаны и могут выпускаться не более, чем десятью компаниями во всем мире. Пробоотборниками для крупнокусковых

продуктов на сегодняшний день оснащено не более 200 обогатительных фабрик по всему миру [6, 72, 73, 76, 77, 78, 93, 94].

Механизированное сокращение крупнокусковых продуктов представляет известную сложность – сократители для материала крупностью более 30 мм фактически отсутствуют.

Отбор проб сыпучих кусковых продуктов выполняется преимущественно в крупности менее 25 мм. Оборудование для механизированного отбора проб сыпучих продуктов представлено как отдельными пробоотборниками, так и технологическими линиями, состоящими из пробоотборников, сократителей и дробилок. Такое оборудование, в отличие от пробоотборников для крупнокусковых продуктов, по большей части является типовым и выпускается 10 – 15 отечественными и зарубежными компаниями.

Нетиповым оборудованием для опробования оснащены обогатительные фабрики, введенные в эксплуатацию до появления серийного оборудования. Примером технологической линии с нетиповым оборудованием для отбора и подготовки проб сыпучего продукта может являться станция опробования мелкодробленной руды на Кочкарской обогатительной фабрике ОАО «Южуралзолото Группа Компаний». Она включает в себя тарельчатый пробоотборник, щековые и валковые дробилки, а также секторные пробосократители. Начальная проба золотосодержащей руды проходит последовательные операции дробления и сокращения. В результате двухстадиального дробления и двойного сокращения начальная проба крупностью менее 20 мм дробится до крупности 3 мм и сокращается в 30 – 50 раз. Тарельчатый пробоотборник и секторные сократители технологической линии разработаны и изготовлены собственными силами предприятия.

Механизированный отбор проб потоков сыпучих кусковых продуктов выполняется при помощи ковшовых, лотковых, маятниковых и секторных пробоотборников [3, 6, 72, 73, 76, 77, 78, 79, 92, 93].

Сокращение сыпучих продуктов на различных стадиях пробоподготовки выполняется в механических сократителях (делителях) разных типов:

- вращающиеся сегментарные делители проб (основа конструкции – делитель проб типа МСП);
- карусельные пробосократители;
- вращающиеся делители проб;
- секторные пробосократители.

Все оборудование реализует способ поперечного пересечения потока.

Отбор проб пульповых продуктов выполняется в крупности твердой фазы менее 5 мм.

Наибольшее распространение на обогатительных фабриках получило опробование потока пульпы в точке свободного перелива из транспортной магистрали в технологические емкости различного назначения. Выходящий из трубы или желоба поток пульпы с заданной периодичностью пересекается ручным пробоотборником либо отсекателем механического пробоотборника. Необходимыми условиями представительного опробования в данном случае

являются равнопредставительное пересечение потока пробоотборным инструментом и достаточное количество отсечек (точечных проб).

Оборудование для отбора и сокращения проб пульповых продуктов преимущественно имеет типовую конструкцию. Оборудование представлено как отдельными пробоотборниками, так и технологическими аппаратными линиями «пробоотборник – сократитель». Технологические линии могут быть оснащены системой доставки проб от точки отбора до места размещения сократителя. Подобные технические решения используются в составе комплексов экспресс-анализа продуктов обогащения, когда сокращенные пробы в непрерывном режиме направляются в анализатор [5, 69, 75, 89, 91, 95, 96, 97]. Механизированный отбор проб пульповых продуктов выполняется преимущественно при помощи лотковых, секторных и вакуумных пробоотборников, также применение находят щелевые и напорные пробоотборники. В лотковых и секторных пробоотборниках реализован способ периодического поперечного пересечения потока. Вакуумные, щелевые и напорные пробоотборники выполняют отбор точечных проб способом периодического продольного пересечения.

Сокращение проб пульповых продуктов выполняется в механических сократителях (делителях) разных типов:

- секторные пробосократители;
- пробосократители с отклонением потока;
- лотковые пробосократители.

Отбор и сокращение проб отфильтрованных продуктов выполняется преимущественно для отфильтрованных готовых продуктов, представленных кеком фильтровального оборудования. Крупность кека составляет 0,2 мм. В случае с концентратами калийных солей и угля крупность кека может составлять 12 мм. Влажность таких продуктов составляет от 4 до 16 %, что является причиной, препятствующей механизации отбора и сокращения проб с применением имеющегося оборудования: для сыпучих продуктов отфильтрованные продукты имеют избыточную влажность, для пульповых продуктов – недостаточную влажность [1, 3, 5]. Механизированный отбор проб отфильтрованных продуктов является в большей степени исключением из практики и реализован на небольшом числе действующих обогатительных фабрик. Для отбора проб отфильтрованных продуктов с конвейерной ленты применяются маятниковые и скреперные (скребковые) пробоотборники. Технологические линии типа «пробоотборник – сократитель» не используются в силу отсутствия надежных пробосократителей для влажных тонкоизмельченных продуктов. Попытки использовать с пробоотборниками секторные пробосократители не привели к универсальному техническому решению и получили применение только для опробования концентратов угля и калийных солей. В мировой практике опробования отфильтрованных продуктов существуют примеры установки после маятникового пробоотборника отдельной системы из ленточного транспортера и второго маятникового пробоотборника меньшего типоразмера, выполняющего функции пробосократителя [3, 25, 71, 82, 89, 98, 99, 100].

Для любого горно-обогатительного предприятия выполняется оценка трудозатрат на выполнение большинства технологических и вспомогательных операций. Операции опробования не являются исключением: трудозатраты определяются как для каждой отдельной операции при отборе, подготовке и анализе проб, так и для всей технологии опробования (до получения результата в виде числового значения). Такая оценка трудозатрат относится к нескольким подразделениям и службам предприятия – как минимум, к ОТК и аналитической лаборатории. При условии использования в целях опробования оборудования, находящегося на балансе обогатительной фабрики, также учитываются трудозатраты персонала обогатительной фабрики на текущую эксплуатацию указанного оборудования. Отдельный учет трудозатрат ведется для работ по обслуживанию и ремонту инструмента и оборудования для опробования.

Наряду с трудозатратами оценивается трудоемкость процесса, которая учитывает расход времени, связанный с особенностями оцениваемой операции. Для операций опробования такой учет времени является актуальным в силу возможных различий в свойствах и характеристиках опробуемых продуктов. Трудоемкость операций отбора и подготовки проб некоторых минеральных продуктов в различных условиях показана в таблице 1.4. Трудоемкость приведена в пересчете на условную единую массу пробы.

В таблице 1.4 приведена величина суммарной удельной трудоемкости только операций отбора и сокращения, без учета всех остальных операций технологии опробования (дробление, измельчение, фильтрование, сушка). Очевидно, что механизированные операции отбора и сокращения проб имеют гораздо более низкую трудоемкость по сравнению с операциями, выполняемыми с применением ручного труда. Так, трудоемкость отбора и сокращения проб золотосодержащей руды на одной из золотоизвлекательных фабрик при переходе на механизированные процессы снизилась в пять раз. В другом случае внедрение одного механического сократителя проб привело к снижению трудоемкости отбора и сокращения проб хвостов обогатительной фабрики в три раза.

Для обогатительных фабрик партией переработанной руды в большинстве случаев является одна смена работы [14, 15]. Результаты опробования партии переработанной руды заносятся в технологический баланс обогатительной фабрики [5, 42, 58, 64]. Сменный результат опробования формируется, как правило, из двухчасовых или часовых результатов. Каждый из таких результатов получен путем анализа проб, сформированных из точечных проб. Тот же порядок опробования относится и к продуктам переработки руд на обогатительной фабрике – технологическим и товарным концентратам, технологическим и отвальным хвостам, а также промежуточным продуктам. Сведения по количеству точечных проб, отбираемых от партий различных минеральных продуктов, приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.4 – Трудоемкость операций отбора и сокращения проб некоторых минеральных и техногенных продуктов

Наименование продукта (сырья)	Крупность опробуемого продукта, мм	Удельная трудоемкость, проб/ч	Наличие механизации для операции
Шламы электролиза	-0,1	0,45	---
		0,83	сокращение
Медно-никелевые руды	-100,0	2,50	отбор и сокращение в технологической линии
Медно-цинковые сульфидные руды	-0,1	2,00	отбор (отдельно)
		0,71	сокращение (отдельно)
Хвосты обогащения медно-цинковых руд	-0,1	2,00	---
		0,71	сокращение
Золотосодержащие руды (после первой стадии измельчения)	-5,0	0,81	---
Шлак чугуноплавильного производства	-250,0	0,22	---
Асбестовая руда	-130,0	2,50	отбор и сокращение в технологической линии
Золотосодержащие руды (после третьей стадии дробления)	-20,0	0,67	---
		3,34	отбор и сокращение в технологической линии



Таблица 1.5 – Число точечных проб от партии минеральных продуктов

Ценный компонент/ продукт обогащения	Число точечных проб от партии	
	отбор проб ручным инструментом	отбор проб механизированным оборудованием
Медь/отвальные хвосты	от 1 до 8	от 8 до 32
Медь/технологич. хвосты	от 4 до 8	от 8 до 32
Цинк/отвальные хвосты	от 1 до 8	от 8 до 32
Цинк/технологич. хвосты	от 4 до 8	от 8 до 32
Золото/отвальные хвосты	от 1 до 8	от 8 до 16
Золото/технологич. хвосты	от 4 до 8	от 8 до 32
Свинец/отвальные хвосты	от 1 до 8	от 8 до 32
Золото/исх. руда мелкодробленая	от 2 до 8	от 16 до 96
Свинец/исх. руда мелкодробленая	от 2 до 8	от 8 до 16
Медь/исх. руда пульпа	от 4 до 8	от 16 до 48
Цинк/исх. руда пульпа	от 4 до 8	от 16 до 48
Никель/исх. руда крупнодробленая	от 2 до 6	96
Медь/исх. руда крупнодробленая	от 2 до 6	96
Асбест/отвальные хвосты	от 2 до 4	от 4 до 12

Из таблицы 1.5 следует, что в 9 из 14 случаев механизированный отбор проб предполагает отбирать то же число точечных проб, что и при ручном отборе. Значительно большее число точечных проб отбирается механизированным способом только в трех примерах. Также явно прослеживается тенденция к пренебрежению опробованием отвалных хвостов на ряде обогатительных фабрик, перерабатывающих медно-цинковые и золотосодержащие руды: от отвалных хвостов может отбираться одна точечная проба в смену.

### 1.3.3. Парадоксы теории и практики опробования

В теории и практике опробования встречаются необъяснимые ситуации, связанные с получением результатов, не соответствующих ожидаемым. Так, на Каджаранской обогатительной фабрике наблюдался факт систематических излишков молибдена при составлении ежемесячного баланса металлов. Аналогичное явление имеет место и на других молибденовых фабриках [6, 50]. При этом погрешность взвешивания автором исследований была исключена, так как в случае действия такой погрешности «...при составлении баланса должен был бы обнаруживаться избыток и второго металла (меди), чего в действительности никогда не бывает».

Подобные ситуации не находят рационального объяснения и могут быть отнесены к парадоксальным [6, 49, 77, 101, 102, 103, 104, 105]. Ниже приведены некоторые из подобных ситуаций, возникающих в практике работы горно-

обогащительных предприятий, а также при выполнении экспериментов по отбору, подготовке и анализу проб:

1. Опробование одного и того же продукта может дать существенно разные результаты:

1.1. Результаты специального опробования, г/т:

- бороздовое опробование руды в массиве – от 0,77 до 1,02;
- точечное опробование добытой руды массой 23,1 тонны в автосамосвалах – от 2,5 до 3,4;
- опробование перевезенной руды в штабеле 12-ю точечными пробами – 6,8;
- опробование измельченной руды (менее 8 мм) 14-ю пробами – 5,03.

1.2. Качество цинкового концентрата при опробовании на флотации составляет 40 %. Качество того же цинкового концентрата при отгрузке со склада составляет от 35 до 38 %. Условия выполнения опробования и схемы опробования аналогичные.

1.3. Результаты опробования медного концентрата в контейнерах при поступлении на склад и при отгрузке со склада приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Результаты опробования медного концентрата на складе

Контролируемый металл	Номер партии	Поступление	Отгрузка	Разность
Медь, %	Партия № 1	18,47	17,91	-0,56
	Партия № 2	18,74	18,44	-0,30
	Партия № 3	18,23	18,03	-0,20
Золото, г/т	Партия № 1	21,00	22,43	+1,43
	Партия № 2	19,96	19,99	+0,03
	Партия № 3	22,54	22,93	+0,39

Для меди наблюдается систематическое занижение массовой доли. Для золота присутствует систематическое завышение массовой доли.

2. Превышение норматива невязки товарного баланса, отсутствие изменения знака невязки, возможные положительные невязки большой величины, возможные положительные невязки на протяжении длительного времени:

В таблице 1.7 приведены относительные невязки товарного баланса двух обогащительных фабрик по вольфраму и молибдену за годовой период.

В таблице 1.8 приведены относительные невязки товарного баланса трех обогащительных фабрик по меди и цинку за годовой период.

Действующими Правилами охраны недр и нормативными документами [6, 52, 77, 106] величина относительной невязки товарного баланса установлена в рамках  $\pm(2 - 3) \%$ .

Таблица 1.7 – Относительные невязки товарного баланса по вольфраму и молибдену в течение года

Месяц	Относительная невязка, %	
	вольфрам	молибден
Январь	+4,39	+1,59
Февраль	+1,14	+4,52
Март	+1,04	+1,66
Апрель	+2,98	+1,54
Май	+3,40	+4,93
Июнь	+2,82	+0,30
Июль	+1,40	+7,10
Август	+1,60	-7,60
Сентябрь	+2,84	+1,76
Октябрь	+4,54	-2,50
Ноябрь	+1,67	-4,76
Декабрь	+5,49	+0,07

Таблица 1.8 – Относительные невязки товарного баланса по меди и цинку в течение года на трех обогатительных фабриках

Месяц	Относительная невязка, %					
	медь			цинк		
	ОФ № 1	ОФ № 2	ОФ № 3	ОФ № 1	ОФ № 2	ОФ № 3
Январь	+0,2	-1,4	+0,3	+3,1	+4,8	+4,2
Февраль	-0,1	-0,3	-0,1	+3,3	+4,7	-4,2
Март	-0,3	-6,9	-0,6	-6,1	+0,1	+0,1
Апрель	+1,0	+0,1	+1,1	+1,2	+0,2	-0,1
Май	+1,1	+0,2	+1,2	+8,8	+7,4	+8,1
Июнь	+0,7	+0,3	+0,8	+0,7	+8,2	+9,6
Июль	-4,4	+1,5	-4,7	+1,8	+5,0	+4,9
Август	-0,1	+2,8	+0,2	+7,2	+4,1	+4,1
Сентябрь	+0,1	+1,3	+0,2	+7,8	+5,9	+5,2
Октябрь	+1,1	+0,1	+1,6	+0,6	+4,6	+4,5
Ноябрь	+0,7	+0,1	+0,9	+0,4	-4,8	+4,8
Декабрь	-1,3	+3,6	-1,4	+4,6	+3,4	+3,6

Предпринимаемые попытки объяснения и исправления указанных парадоксов в большинстве случаев приводят к выработке поправок (корректировок) полученных опробованием результатов. При этом причины

возникновения парадоксов остаются невыясненными. Примеры таких поправок показаны ниже [6, 7]:

### 1. Использование поправочных коэффициентов массовой доли:

Для одного из алмазодобывающих предприятий использован поправочный коэффициент  $K_{\text{п}}$  массовой доли алмазов, определяемой на этапах детальной и эксплуатационной разведки. Зависимость величины поправочного коэффициента от массовой доли алмазов по результатам опробования показана на рисунке 1.4.

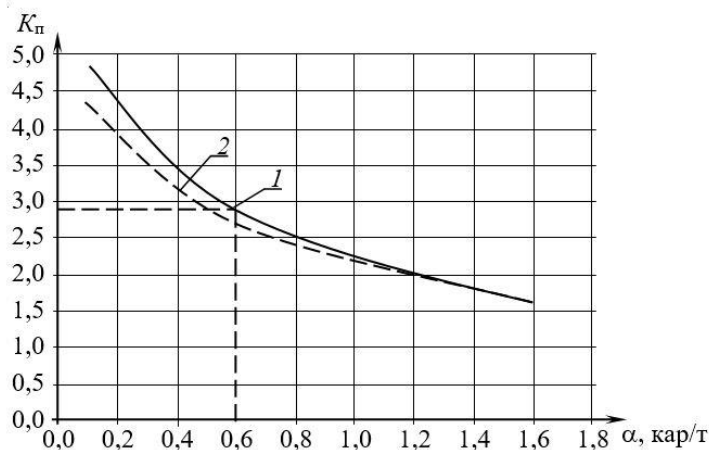


Рисунок 1.4 – Зависимости величины поправочного коэффициента  $K_{\text{п}}$  от массовой доли алмазов:

1 – для массовой доли алмазов по результатам детальной разведки;

2 – для массовой доли алмазов по результатам опережающей эксплуатационной разведки

Аналогичный поправочный коэффициент применяется для исправления результатов опробования золотосодержащей руды на массовую долю золота (рисунок 1.5).

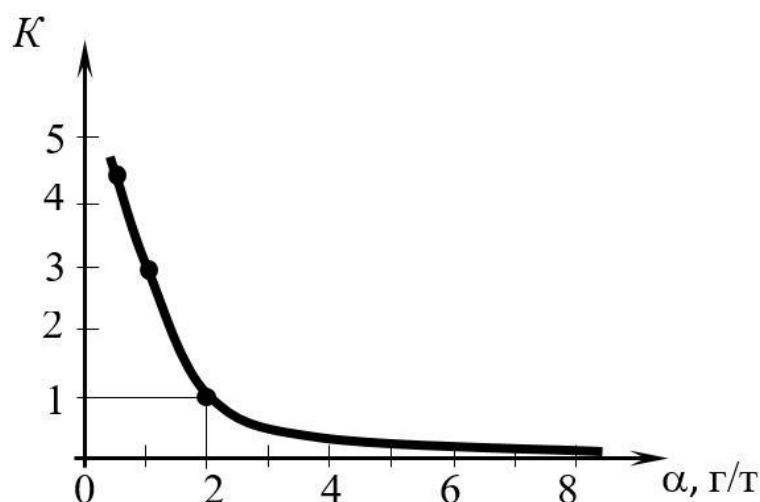


Рисунок 1.5 – Значение поправочного коэффициента в зависимости от средней массовой доли золота в исходной руде

Фактически, приведенные на рисунках зависимости величины поправочных коэффициентов от массовой доли являются инструментом сознательного изменения результатов опробования.

## 2. Проверка результата опробования повторным опробованием:

Проверка результата опробования повторным опробованием, выполняемым по той же схеме, является распространенной практикой.

Получение предполагаемого правильного результата при повторном опробовании, а также получение двух одинаковых проб (навесок) является маловероятным. Убеждение в правильности повторного опробования, повторного анализа контрольных и арбитражных проб, а также повторного отбора навесок приводит к некорректному искусственному изменению получаемых результатов:

- при появлении ураганных проб применяется искусственный алгоритм их исключения из расчетов, в частности, правило «трех сигм» [6, 32, 56];

- при выходе результатов параллельного анализа навесок за доверительный интервал используется алгоритм исключения результатов анализа, которые являются правильными;

- при выполнении повторного опробования по установленной схеме (инструкции) за правильный принимается результат, полученный повторно, который имеет такое же отклонение от истинного, как и первый результат, подвергаемый сомнению.

## 3. Постановка на балансовый учет или списывание массы ценного компонента в продуктах обогащения, которая не подтверждена опробованием:

Причинами подобных действий является разница между технологическим балансом и фактическими результатами работы обогатительной фабрики (скрытые излишки и скрытые потери):

- по технологическому балансу в бункере на конец месяца должно быть некоторое количество металла, но фактически в бункере отсутствует продукт, содержащий этот металл;

- на складе товарного концентрата в конце месяца металла должно остаться определенное количество, тогда как фактически этого металла накопилось в разы больше;

- значительная разница между технологическим и товарным извлечением.

Снижение доверительных интервалов для согласования результатов в разных лабораториях может приводить к некорректным результатам. Примером получения таких результатов является проведенный в США межлабораторный эксперимент по проверке показателей точности аналитических лабораторий при определении массовой доли золота.

В ходе данного эксперимента в 41 лабораторию были направлены «одинаковые» золотосодержащие пробы с известными допустимыми отклонениями. Такие отклонения были назначены без учета указанного выше парадокса опробования: «Пробы, навески и стандартные образцы не имеют однородного состава по массовой доле контролируемого компонента». Результаты эксперимента приведены в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Результаты межлабораторного эксперимента без учета парадокса опробования по однородности состава проб

Проба	Массовая доля Au, г/г		Среднее, г/г	Допустимое отклонение, $\pm\Delta\alpha$ , г/г	$P_{\alpha, \text{доп}}$ , %	Доверительный интервал массовой доли в навеске 30 г	Доля лабораторий, могущих попасть в допустимое отклонение, %	Число таких лабораторий из 41	Число лабораторий, попавших одновременно в допустимые пределы во всех пробах
	min	max							
NBMG-2b	7,54	8,09	7,8	$\pm 0,275$	3,5	$\pm 0,974$	22	9	0,54 $\approx$ 1
NBMG-4b	0,34	0,48	0,41	$\pm 0,07$	17,1	$\pm 0,222$	24	10	
NBMG-6b	0,69	0,89	0,79	$\pm 0,1$	12,7	$\pm 0,31$	25	10	
СВ (холостая)	–	–	0,005	–	–	–	Ненулевые результаты 28	11	–

По результатам рассчитаны реальные доверительные интервалы. По этим интервалам «правильные» ответы по каждой отдельной пробе могли дать только 22 – 25 % лабораторий, а три «правильных» ответа по всем трем пробам могла обеспечить только одна лаборатория.

Доля лабораторий, которые могли дать правильный результат по всем трем пробам:

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 = 0,22 \cdot 0,24 \cdot 0,25 = 0,0132.$$

В таких условиях количество лабораторий, подтверждающих все три результата, составит

$$41 \times 0,0132 = 0,54 \rightarrow 1.$$

При выполнении исследовательских работ и разработке методической документации за аксиому принимаются следующие факты, не являющиеся на сегодняшний день очевидными:

- распределения массовой доли в точечных пробах подчиняются нормальному закону;
- минимальная масса пробы является постоянной величиной, зависящей от крупности опробуемого продукта и определяемой с использованием формулы Ричардса-Чечотта вида  $q = kd^2$ .

### 1.3.4. Экспериментальное определение погрешностей результата опробования

Развитие отечественной и зарубежной практики опробования на сегодняшний день носит эмпирический характер [3, 6, 26, 51, 59, 74, 75, 86]. Так, например, действующими нормативными документами определение погрешностей опробования рекомендовано выполнять экспериментальным путем [3, 6, 14, 15, 16, 20, 21, 37, 38, 39, 95, 104, 107, 108]:

- систематические погрешности следует определять экспериментально с использованием сравнительной оценки на основании критерия Стьюдента;
- случайные погрешности следует определять по результатам выполнения дубликатного опробования.

Экспериментальный путь определения погрешностей предписан международным стандартом ISO 13292-2006 (E) [39]: в стандарте даны прямые указания, выполнение которых должно приводить к отсутствию систематической погрешности опробования. В частности, регламентированы размеры пробоотбирающих инструментов, в том числе совков и щупов для отбора проб. Прямых количественных указаний немного, а имеющиеся не являются универсальными. В международном стандарте не учтены все ситуации, когда при опробовании может возникнуть систематическая погрешность.

Экспериментальное определение систематических погрешностей при наличии случайных погрешностей представляет известную трудность и не является надежным. Действующий международный стандарт не в состоянии гарантировать выполнение опробования без систематической погрешности.

Требование равенства нулю систематической погрешности не означает, что оно фактически выполняется. Возможных причин возникновения систематической погрешности существует достаточно много. Единственная возможность устранить систематическую погрешность – это найти и устранить вызывающую ее причину.

Обнаружение и устранение систематической погрешности продемонстрировано на примере опробования медно-никелевого продукта [6].

При производстве и приобретении медно-никелевого продукта опробование проводится у поставщика (ПС) и потребителя (ПТ). Между массовой долей, зафиксированной у потребителя  $\alpha_{\text{ПТ}}$  и у поставщика  $\alpha_{\text{ПС}}$ , имеется систематическое расхождение:

- по массовой доле никеля  $\alpha_{\text{ПТ}} - \alpha_{\text{ПС}} = -0,34 \%$ ;
- по массовой доле меди  $\alpha_{\text{ПТ}} - \alpha_{\text{ПС}} = +0,36 \%$ .

Для выявления причин расхождений были изучены условия и методики опробования у поставщика и у потребителя. Установлено, что у потребителя истирание пробы на дисковом истирателе связано с удалением образующейся пыли через аспирационную систему.

Отобраны пробы пыли, в результате чего установлено: удаляемая пыль обогащена никелем и обеднена медью (таблица 1.10).

Таблица 1.10 – Результаты анализа продуктов подготовки пробы

Параметр	Массовая доля, %					
	после измельчения на дисковом истирателе		в пыли, удаляемой в аспирационную систему		разность	
	никель	медь	никель	медь	никель	медь
Массовая доля в продуктах истирания	42,35	29,65	44,62	27,30	-2,27	+2,35
Продукты	просеянная часть пробы		непросеянная часть пробы		разность	
Массовая доля в продуктах просеивания	42,46	29,85	47,70	28,68	-5,44	+1,17

Установлено также, что у потребителя после истирания проба пропусклась через контрольное сито с размером ячейки 0,071 мм. При этом от одного до двух процентов массы пробы оказывались недробимыми и через сито не проходили, оставаясь в большей крупности, чем это допускается методикой. Анализ недробимого остатка показал, что он также обогащен никелем и обеднен медью (таблица 1.10). Недробимая часть добавлялась в измельченную пробу. При отборе навесок относительно крупные недробимые частицы в навески обычно не попадают, что в итоге также приводит к погрешности систематического характера.

Выполненные исследования позволили выявить причины систематической погрешности и устранить их:

- дисковые истиратели заменены на вибрационные истиратели закрытого типа, что исключило пылевыделение и удаление пыли;
- недробимый остаток должен доизмельчаться до полного прохождения через сито, а если этого добиться не удастся, просеянная проба и остаток взвешиваются и анализируются отдельно, а результат находится, как средневзвешенный.

Аналогичная работа была выполнена на пробах благородных металлов [3, 6].

С целью изучения причин появления систематических погрешностей руда крупностью минус 100 мм была раздроблена до крупности минус 2 мм. Распределение металлов по классам крупности отражено в таблице 1.11.

Из таблицы следует, что платина и золото при подготовке пробы крайне неравномерно распределяются по классам крупности: класс крупности минус 0,1 мм существенно обеднен обоими металлами.

Попытки измельчать пробы (навески) до крупности менее 0,1 мм в механической ступке и вибрационном истирателе показали, что выход класса +0,1 мм не снижался менее, чем до 2,5 %. Измельчение пробы в мельницах в течение 210 – 240 минут приводило к наличию класса +0,1 мм в количестве не более 0,01 %, но при этом с массовой долей платины от 1 874 до 10 571 г/т.



Таблица 1.11 – Распределение платины и золота в продуктах дробления

Класс, мм	Выход, %	Массовая доля, г/т	
		платина	золото
+1,25	6,63	5,70	3,48
-1,25+0,50	31,67	22,20	6,53
-0,50+0,10	33,08	5,80	3,19
-0,10	28,62	3,70	1,14
Итого:	100,00	10,40	3,68

Распределение платины по классам крупности пробы показано в таблице 1.12.

Таблица 1.12 – Распределение платины по классам крупности измельченной пробы

Класс крупности, мм	Выход класса крупности, %	Массовая доля, г/т
+0,10	0,02	10571,0
-0,10+0,08	0,21	190,5
-0,08+0,05	3,71	85,0
-0,05	96,06	8,1
Итого:	100,00	13,45

В итоге было предложено класс +0,1 мм анализировать отдельно от класса минус 0,1 мм с последующим расчетом средневзвешенной массовой доли платины в навеске по уравнению баланса.

Международные стандарты по структуре и основному функциональному содержанию соответствуют отечественному Государственному стандарту ГОСТ 14180-80 «Руды и концентраты цветных металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги» [15]. Рекомендации по исключению систематических погрешностей и экспериментальному определению случайных погрешностей, содержащиеся в международных стандартах, аналогичны соответствующим рекомендациям ГОСТ 14180-80.

Опыт практического применения рекомендованных стандартами процедур дубликатного опробования демонстрирует их низкую эффективность [107, 108, 109]. Так, на ТОФ результаты дубликатного опробования к желаемым результатам по величине случайных погрешностей не привели.

Для выполнения эксперимента была разработана методика экспериментальной оценки погрешностей опробования исходных медно-никелевых руд на пробоподготовительно-сократительной установке (ППСУ) ТОФ [3, 5]. Существующая технологическая схема и компоновка оборудования ППСУ предусматривает возможность выполнения подготовки проб, отобранных одним ковшовым пробоотборником, на двух параллельных технологических линиях. Это обеспечивает выполнение условий эксперимента по оцениванию погрешности опробования согласно Приложению 3 ГОСТ 14180-80.

Основные положения разработанной методики экспериментальной оценки погрешностей опробования исходных руд:

1. В соответствии с Приложением 3 ГОСТ 14180-80 от опробуемой партии продукта следует отобрать удвоенное число точечных проб. При этом для формирования двух взаимозаменяемых объединенных проб за сутки нечетные точечные пробы следует направлять на одну линию пробоподготовки, а четные – на другую линию. В результате будут получены накопленные объединенные суточные пробы «А» и «В».

Расчет периодичности отбора точечных проб на ППСУ в соответствии с п. 3.6.2 ГОСТ 14180-80 по меди и никелю показал, что минимально допустимая периодичность отбора точечных проб составляет для меди не менее 20 минут, для никеля – не менее 55 минут. Исходя из этого, для проведения эксперимента существующую периодичность отбора точечных проб от потока руды можно оставить без изменений: для каждой из объединенных проб периодичность отбора составит 16 минут. Таким образом, за сутки каждая накопленная объединенная проба будет сформирована из 90 точечных проб, прошедших идентичный процесс пробоподготовки. Схема проведения эксперимента по определению погрешностей опробования исходных медно-никелевых руд ТОФ соответствует ГОСТ 14180-80.

2. Учитывая, что за партию исходной руды на ТОФ принимается суточный объем переработки, по п. 1.3 Приложения 3 эксперимент следует проводить в течение десяти суток. При этом следует обеспечить выполнение следующих условий:

- массовая доля меди, никеля и кобальта за указанный период не должна изменяться более, чем в два раза;
- в течение всего эксперимента (десять суток) точечные пробы должны отбираться одним и тем же пробоотборником с одного и того же конвейера; если это затруднительно по тем или иным причинам, то эксперимент следует разбить по суткам на приемлемое количество периодов работы одного пробоотборника;
- обеспечить своевременное переключение потоков пробы на параллельные линии ППСУ;
- обеспечить полную идентичность функционирования обеих линий ППСУ как по режиму работы оборудования, так и по периодичности выполняемых операций.

3. Анализ объединенных суточных проб «А» и «В» проводится в полном соответствии с п. 2.1 Приложения 3 ГОСТ 14180-80.

Анализ выполняется на медь, никель и кобальт.

Дополнительное требование к выполнению анализа: для анализируемых в рамках проведения эксперимента проб предоставить для обработки статистику по параллельным определениям меди, никеля и кобальта.

По результатам выполнения опробования были представлены результаты анализов по 11 партиям (суточным объемам переработки исходной руды) с параллельными результатами, полученными двумя лабораториями рентгеноспектральным методом (РСА) и методом атомно-эмиссионной

спектроскопии (МАЭС), а также результаты анализов по двум партиям на никель и медь только одной лаборатории (Приложение I).

Обработка результатов опробования на ППСУ выполнена по формулам Приложения 3 ГОСТ 14180-80. Полученные данные представлены в соответствии с содержанием алгоритма обработки результатов и терминологии Приложения 3:

Погрешность анализа проб:

Расчет выполнен по формуле (21) Приложения 3 ГОСТ 14180:

$$S_{\text{ан}} = \alpha \bar{R}_1,$$

где  $R_1 = |\alpha_{11} - \alpha_{12}|$  или  $|\alpha_{21} - \alpha_{22}|$  – размах массовых долей в пробах;  $\bar{R}_1 = \sum R_{1i}/2m$  – средний размах;  $\alpha = 0,886$  (при  $n = 2$ ,  $n$  – число параллельных анализов);  $m$  – число партий;  $S_{\text{ан}}$  – среднеквадратичная погрешность анализа.

Расчет выполнен отдельно по анализам каждой из лабораторий.

Результаты расчета погрешностей анализа приведены в таблице 1.13.

Среднее значение относительных погрешностей анализа по результатам двух лабораторий:

- по никелю – 0,625 %;
- по меди – 0,840 %;
- по кобальту – 1,025 %.

Таблица 1.13 – Результаты расчета погрешностей анализа исходных руд ТОФ по данным контрольного опробования

Металл	Сумма размахов $\Sigma_{1i}$ , %	Средний размах $\bar{R}_1$ , %	Среднеквадратичное отклонение $S_{\text{ан}}$ , %	Относительная погрешность $P_{\text{ан}}$ , %
Лаборатория РСА:				
Никель	0,180	0,0070	0,00610	0,61
Медь	0,270	0,0104	0,00920	0,63
Кобальт	0,010	0,0004	0,00035	0,89
Лаборатория МАЭС:				
Никель	0,160	0,0073	0,00640	0,64
Медь	0,260	0,0118	0,01050	1,05
Кобальт	0,013	0,00060	0,00052	1,16

Полученные погрешности анализа значительно ниже погрешностей, установленных действующими методиками анализа.

Погрешности опробования:

Расчет погрешностей опробования выполнен отдельно по результатам анализа каждой из лабораторий по формуле (22) Приложения 3 ГОСТ 14180-80:

$$S_{\text{опр}} = \alpha \left( \bar{R}_2^2 - \frac{1}{2} \bar{R}_1^2 \right)^{\frac{1}{2}},$$

где  $\bar{R}_1$  – средний размах параллельных анализов;  $\bar{R}_2 = \sum R_{2i}/m$  – средний размах между массовыми долями металлов в пробах А и В;  $\alpha = 0,886$  (при  $n = 2$ ).

Результаты расчета погрешностей опробования приведены в таблице 1.14.

Среднее значение относительных погрешностей опробования по данным двух лабораторий:

- по никелю – 1,32 %;
- по меди – 1,01 %;
- по кобальту – 0,81 %.

Полученные погрешности опробования также существенно ниже случайных погрешностей опробования, рассчитанных теоретически.

Таблица 1.14 – Результаты расчета погрешностей опробования исходных руд ТОФ по данным контрольного опробования

Металл	Сумма размахов $\Sigma_{2i}$ , %	Средний размах $\bar{R}_2$ , %	Среднеквадратичное отклонение $S_{\text{опр}}$ , %	Относительная погрешность $P_{\text{опр}}$ , %
Лаборатория РСА ( $m = 13$ ):				
Никель	0,260	0,02000	0,017000	1,71
Медь	0,125	0,00960	0,006500	0,45
Кобальт	0,004	0,00036	0,000154	0,34
Лаборатория МАЭС ( $m = 11$ ):				
Никель	0,1300	0,01180	0,009400	0,94
Медь	0,3000	0,02730	0,023000	1,58
Кобальт	0,0085	0,00077	0,000575	1,28

Следуя логике ГОСТ 14180-80, экспериментально доказано, что система опробования исходных руд ТОФ характеризуется низким уровнем случайных погрешностей по всем контролируемым металлам. При этом основную долю общей случайной погрешности опробования составляет погрешность анализа.

В ГОСТ 14180-80 отсутствует алгоритм аналитического расчета случайных погрешностей опробования. В стандарте ISO 12743-2006 (E) аналитический алгоритм имеется [38].

## 1.4. Современная теория опробования и ее практическое применение

### 1.4.1. История теории опробования

Так как опробование связано с отбором проб для определения количественных характеристик продуктов, необходима теоретическая база, позволяющая решать задачи отбора проб исходя из требуемого качества определения этих характеристик. Первые теоретические расчеты и положения появляются в работах инженеров Везина и Брунтонна [110, 111]. Первой работой, обобщающей и связывающей теорию и практику опробования на горно-обогатительном производстве, является труд американского ученого и инженера Р. Х. Ричардса «Ore dressing», впервые изданный в США в 1903 году [112]. Впоследствии результаты теоретических и практических исследований по отбору и сокращению проб были представлены в работах Г. О. Чечотта, Н. И. Трушкова, Н. В. Барышева, К. Л. Пожарицкого.

Во второй половине XX века основные теоретические работы по опробованию минеральных продуктов выполнены М. Н. Альбовым, М. Ф. Локоновым, Г. А. Ханом, П. Л. Каллистовым, А. А. Куликовым, П. Жи, Н. В. Карпенко, И. Н. Плаксиным, О. Н. Тихоновым, Ю. А. Ткачевым, А. А. Шеиным, Ю. А. Кудрявцевым. В XXI веке работы в области теории опробования продолжили П. Жи и В. З. Козин. На протяжении прошедших 90 – 100 лет опубликовано достаточно большое количество работ и результатов исследований по опробованию, носящих узконаправленный практический характер.

Полная теория опробования в мировой практике создавалась независимо друг от друга П. М. Жи (Pierre M. Gy, Франция) и В. З. Козиным (СССР – Российская Федерация).

#### **1.4.2. Случайная погрешность опробования. Теория опробования П. Жи «Theory of sampling»**

Теория опробования П. Жи изложена в научном труде, изданном в 1979 г. [113], с последующими уточнениями основных положений в многочисленных публикациях того же автора [114]. С использованием теории П. Жи разрабатываются стандарты на опробование [115, 116], сама теория возводится в ранг универсальной. На сегодняшний день теория носит устоявшееся название «Theory of sampling» (TOS). В таблице 1.15 показана принципиальная схема формирования и последовательного накопления погрешностей (ошибок) результата опробования в соответствии с TOS.

Согласно TOS, фундаментальная погрешность отбора проб (FSE) выражается формулой (в обозначениях источника [113])

$$S_{FSE}^2 = gfcLd^3/M_s. \quad (1.8)$$

где  $g$  – коэффициент, зависящий от гранулометрической характеристики продукта ( $g = 0,25$ );  $f$  – коэффициент формы частиц ( $f = 0,5$ );  $c$  – фактор минерального состава;  $L$  – коэффициент раскрытия ( $L = 0 \div 1$ );  $M_s$  – масса пробы.

Отдельно друг от друга в TOS рассмотрены теория дискретного отбора проб (discrete) и теория массового отбора проб (continuel).

Попытка создания универсальной теории опробования подвергается критике. Особенно резкая критика теории опробования П. Жи присутствует в работах D. S. Dihalu и B. Geelhoed [117]. Авторы считают, что теория недостаточно практична и недостаточно убедительна. В частности, в своих работах критики теории П. Жи обосновывают следующий тезис: «...нет доказательства, что две ее [теории опробования] основные теоретические части, а именно – модель дискретного выбора и модель непрерывного выбора – совместимы и не противоречат друг другу».

Несмотря на неоднократные дополнения и совершенствования теории опробования, связь между названными вариантами отбора не показана и не имеет теоретического подтверждения [118, 119, 120, 121]. Авторами указано, что после

выхода полного изложения теории П. Жи «...число людей, которые прочитали и поняли полную теорию выборки Жи, включая базовую оценку дисперсии, невелико. ...с академической точки зрения, наука должна быть, по крайней мере, понятной для большинства заинтересованных людей в этой области исследований» [117].

Таблица 1.15 – Принципиальная схема формирования и последовательного накопления погрешностей результата опробования в соответствии с TOS

Этап опробования	Причины возникновения погрешностей
Отбор проб	Фундаментальная погрешность отбора проб Погрешность группирования и сегрегации Погрешность селективности свойств Потери пробы Чрезвычайные факторы
Подготовка проб	Заражение пробы Потери пробы Изменение свойств пробы Подмена (замещение) проб Определение массы проб Чрезвычайные факторы
Анализ проб	Погрешность методики анализа Приборная (инструментальная) погрешность Чрезвычайные факторы
Составление базы данных опробования	Ошибка ввода (учета) данных Ошибка обработки данных Смещение цифр при обработке Чрезвычайные факторы

Опробование минерального сырья в горной промышленности играет ключевую роль в обеспечении качества продукции. Теория и практика опробования руд и продуктов обогащения развивались как в связи с требованиями стандартов, так и в связи с развитием самой техники отбора, подготовки и анализа проб [7, 122, 123, 124]. В настоящее время основная техника опробования представлена пробоотборниками и сократителями разных типов, а также оборудованием и приборами для анализа. В оборудовании реализованы различные способы и варианты отбора, сокращения и анализа проб. Использование любого из способов опробования требует понимания условий его практического применения, а также возможностей применяемого оборудования. Это, в свою очередь, требует практически применимой и обоснованной теории опробования.

Среди разнообразных проблем в области опробования основное внимание традиционно уделяется изучению погрешностей опробования и минимальных масс проб, как величин, определяющих условия отбора, подготовки и анализа проб.

Центральное место данные вопросы занимают в TOS П. Жи [113]. При этом теоретическая база получения формулы фундаментальной погрешности отбора проб в теории П. Жи не сформулирована, что не позволило связать формулу с условиями отбора точечных проб и формированием объединенной пробы.

Необходимо отметить, что теоретические положения TOS, несмотря на их использование в стандартах на опробование, имеют весьма ограниченное практическое применение. При достаточной полноте теоретического обоснования

технологии опробования, практические рекомендации в большей части сводятся к расчету минимальных масс проб и коэффициентов вариации массовой доли. Претензия TOS на универсальность дает возможность для ее критики. Основные ограничения TOS и примеры их действия перечислены ниже:

1. Эвристический характер выбора коэффициентов в формуле фундаментальной погрешности опробования. Фактически, расчетные коэффициенты, входящие в указанную формулу, определяются на основании допущения, не имеющего четкого вывода или объективного эмпирического обоснования.

2. Эмпирические основы определения минимальной массы пробы не могут являться универсальными. Расчет минимальной массы пробы по TOS является продолжением эмпирических закономерностей, полученных Ричардсом и Чечоттом.

3. Использование вариограмм для детального описания неоднородности опробуемого массива и возможности вариограммы для указанной задачи преувеличены.

4. При фактическом декларировании наличия значимой систематической погрешности в TOS не содержится алгоритмов ее обнаружения и устранения.

Международный стандарт ISO 12743-2006 (E) [38] предусматривает использование для определения случайных погрешностей опробования расчетных формул на основе TOS.

Указанным стандартом установлено, что случайная погрешность опробования  $S_\alpha$  состоит из трех составляющих – погрешности отбора точечных проб  $S_{от}$ , погрешности подготовки проб  $S_{под}$  и погрешности анализа  $S_{ан}$  на  $r$  навесках:

$$S_\alpha^2 = S_{от}^2 + S_{под}^2 + S_{ан}^2 / r. \quad (1.9)$$

Формула соответствует классической схеме технологии опробования [6, 7].

Аналитическую составляющую погрешности опробования международный стандарт учитывает при помощи эвристической зависимости случайной погрешности отбора проб [125]:

$$S_{от}^2 = S_\phi^2 + S_\Pi^2 + S_T^2 \quad (1.10)$$

где  $S_\phi^2$  – фундаментальная погрешность, определяемая неоднородностью составляющих пробу кусков;  $S_\Pi^2$  – погрешность, зависящая от локальных неоднородностей в точке отбора пробы;  $S_T^2$  – погрешность, зависящая от глобальных неоднородностей опробуемого массива.

Для фундаментальной погрешности опробования получена формула

$$S_\phi^2 = gf\alpha(1-\alpha)pd_p^{0,5} \cdot d^{2,5} \cdot d^{2,5} / q_T \quad (1.11)$$

Обозначения в указанной формуле даны согласно ISO 12743-2006 (E) [38].

Учет локальных неоднородностей в формуле фундаментальной погрешности  $S_{\phi}$  принято выполнять при помощи коэффициента  $K_{л}$ :

$$S_{\phi}^2 + S_{л}^2 = K_{л} g f \alpha (1 - \alpha) \rho d_p^{0,5} d^{2,5} / q_T \quad (1.12)$$

Несмотря на кажущуюся детализацию формул, имеющиеся зависимости нельзя назвать аналитическими, так как они составлены на основании эмпирических величин:

-  $K_{л}$  – учет локальных неоднородностей, связанных с сегрегацией кусков и их перераспределением (произвольно принято  $K_{л} = 2$ );

-  $g$  – коэффициент узости класса крупности пробы. Для отношения максимальной крупности пробы к минимальной, составляющем более 4, коэффициент узости класса крупности составляет  $g = 0,25$ ; для отношения крупности 2 – 4 коэффициент узости класса крупности составляет  $g = 0,50$ ; для отношения крупности менее 2 величина  $g = 0,75$  и для отношения крупности, равного единице, величина  $g = 1,00$ ;

-  $f$  – коэффициент формы (принят равным 0,5);

-  $\alpha$  – массовая доля минерала;

-  $d_p^{0,5}$  – крупность полного раскрытия минерала (степень 0,5 принята произвольно);

-  $d^{2,5}$  – крупность материала пробы  $d_{95}$  (степень 2,5 принята произвольно);

-  $\rho$  – плотность минерала пробы, вычисляемая на основании модели «минерал – порода»:

$$\rho = (1 - \alpha) \cdot \rho_{п} + \alpha \cdot \rho_{м} .$$

В результате формулу расчета  $S_a^2 + S_{л}^2$  следует считать эвристической.

В таком случае полная погрешность отбора пробы будет равна

$$S_{от}^2 = S_{эв}^2 + S_T^2 . \quad (1.13)$$

Предполагая, что при подготовке проб величина  $S_{л}$  уже учтена в величине  $S_{эв}$ , а величина  $S_T = 0$ , получается

$$S_{под}^2 = S_{эв под}^2 . \quad (1.14)$$

В итоге в международном стандарте предлагается дисперсию точечных проб определять экспериментальным путем, отбирая от 30 до 50 точечных проб от опробуемого массива ( $N_s = 30 - 50$ ). Формула для расчета экспериментального значения дисперсии точечных проб:

$$S_T^2 = \frac{\sum (\alpha_i - \bar{\alpha})^2}{N_s - 1} - S_{под+ан}^2 . \quad (1.15)$$



Если учесть, что согласно стандарта ISO 12744-2006 (E) погрешности  $S_{\text{под}}$  и  $S_{\text{ан}}$  определяют экспериментально по данным дубликатного опробования [126], то доля аналитической составляющей при отборе проб по перечисленным выше стандартам сводится к нулю.

### 1.4.3. Случайная погрешность опробования. Теория опробования В. З. Козина

Теория опробования В. З. Козина дает количественную оценку погрешностей и предлагает механизм их снижения или устранения [6].

Технология опробования включает в себя три последовательно выполняемые операции: отбор проб, подготовку проб и анализ проб. Соответственно, *случайная погрешность опробования* составит

$$S_{\alpha}^2 = S_{\text{от}}^2 + S_{\text{под}}^2 + S_{\text{ан}}^2. \quad (1.16)$$

Так как при выполнении анализа возможно в отдельную операцию выделить отбор навески, формула приобретает вид

$$S_{\alpha}^2 = S_{\text{от}}^2 + S_{\text{под}}^2 + \frac{1}{n_{\text{нав}}} \left( S_{\text{нав}}^2 + \frac{1}{n_{\text{м}}} S_{\text{м}}^2 \right), \quad (1.17)$$

где  $n_{\text{нав}}$  – число навесок, которые передаются на анализ и результаты которых усредняются;  $n_{\text{м}}$  – число измерений на одной навеске.

Как правило, величина  $n_{\text{м}} = 1$ . При неразрушающих методах анализа возможно повторение анализа на той же навеске и усреднение результата.

Полученные ранее формулы погрешности отбора и подготовки пробы дают итоговую формулу случайной погрешности результата опробования:

$$S_{\alpha}^2 = \frac{S_{\text{т}}^2}{N_{\text{т}}} + K_{\text{под}} \sum_{j=1}^k 2fS_{\text{к}j}^2 p_{\text{д}j}^3 \left( \frac{1}{q_{\text{жкон}}} - \frac{1}{q_{\text{жнач}}} \right) + \frac{1}{n_{\text{нав}}} \left[ 2fS_{\text{к нав}}^2 p_{\text{д нав}}^3 \left( \frac{1}{q_{\text{нав}}} - \frac{1}{q_{\text{пак}}} \right) + \frac{1}{n_{\text{м}}} S_{\text{м}}^2 \right]. \quad (1.18)$$

Данная формула получена с использованием фундаментальных характеристик опробования – покусковой дисперсии и закономерностей изменения случайной погрешности в зависимости от массы точечной пробы.

#### Покусковая дисперсия:

Неоднородность отдельных кусков опробуемого массива является фундаментальным свойством руд и продуктов обогащения, которое может быть описано аналитически и определено количественно.

Покусковая дисперсия для продуктов, представленных *раскрытыми* зернами минерала и породы,  $S_k^2$  получена аналитически [6] 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:

$$S_k^2 = \frac{\rho_m}{\rho_{\Pi}} \alpha (\beta_m - \alpha) \left( 1 - \frac{\alpha}{\beta_m} + \frac{\alpha \rho_{\Pi}}{\beta_m \rho_m} \right)^2. \quad (1.19)$$

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

$$S_k^2 = \frac{\rho_m}{\rho_{\Pi}} \alpha \beta_m. \quad (1.20)$$

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

$$S_{k\text{ср}}^2 = S_k^2 \left( \frac{d_3}{d} \right)^{3-b}. \quad (1.21)$$

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  $b = 1,5$ ).

В формулу кроме размера кусков материала  $d$  входят размер зерен полезного минерала  $d_3$  и число  $b$ , обозначающее характер вкрапленности ценного компонента. Последнее зависит от строения куска (текстура руды):

- для редкой равномерной вкрапленности  $b = 0$ ;
- для жильной вкрапленности  $b = 1$ ;
- для слоистой вкрапленности  $b = 2$ ;
- для массивной руды  $b = 3$ .

Под крупностью куска  $d$  и крупностью зерна полезного компонента  $d_3$  понимается размер отверстий сита с квадратной ячейкой, через которое

проходит материал указанной крупности. Предельным случаем является массивная руда (она же вскрытая), для которой  $b = 3$ , но при этом выполняется равенство  $d_3 = d$ . Необходимо также введение понятия неравномерной вкрапленности, для которой ориентировочно можно принять  $b = 1,5$ .

Условно считается, что руда с размером кусков  $d < d_3$  раскрыта, а с размером кусков  $d > d_3$  представлена сростками.

Покусковая дисперсия является максимальной из возможных дисперсий точечных проб, и ее величина не зависит от степени однородности или усреднения опробуемого массива.

### Первичность массы точечной пробы:

Первичной величиной при отборе проб, выбираемой в зависимости от параметров используемого для отбора точечной пробы инструмента, является масса точечной пробы  $q_T$ .

Масса точечной пробы при использовании механических пробоотбирателей определяется производительностью потока руды, шириной щели пробоотбирателя и скоростью ее перемещения. Масса точечной пробы при использовании анализаторов массовой доли непосредственно в потоке пульпы или на конвейере определяется скоростью потока, сечением части анализируемого потока, предопределяющей аналитический сигнал, и продолжительностью экспозиции [127, 128, 129].

Масса точечной пробы при опробовании неподвижных масс определяется либо геометрическими параметрами инструмента, отбирающего пробу, либо массой активной части материала, формирующей аналитический сигнал, при использовании анализаторов материала в опробуемом массиве [6].

Так как инструментов и способов отбора точечных проб по одному куску практически не существует (исключение – лазерные гранулометры), то покусковой отбор проб и покусковая дисперсия являются необходимыми, но в чистом виде теоретическими понятиями, а минимальная масса при покусковом отборе – предельно достижимой минимальной массой точечной пробы при опробовании [107, 130, 131, 132].

### Дисперсия точечных проб:

Дисперсия точечных проб  $S_T^2$  является вторым после покусковой дисперсии  $S_K^2$  фундаментальным понятием в теории опробования.

Отличие точечных проб друг от друга предопределяется двумя причинами:

- ограниченностью массы точечной пробы и, следовательно, конечностью числа кусков в ней;

- неидеальностью перемешанности опробуемого массива, что приводит к тому, что формулу ( $S_\alpha^2$ ) следует записать, как

$$S_\alpha^2 = \frac{S_K^2 - S_T^2}{n_T} + S_T^2. \quad (1.22)$$

Формула показывает, что увеличением числа кусков  $n_T$  в точечной пробе можно снизить дисперсию только до определенного предела, а именно, до  $S_T^2$ .

Дисперсия точечных проб является характеристикой опробуемого массива в целом, и определяется только экспериментально. Для контрольного периода  $T$  или массы  $M$  следует отобрать 50 точечных проб по ГОСТ 14180-80 (согласно приложению 1) и по результатам их анализа определить коэффициент вариации и дисперсию точечных проб [6, 132].

### Минимальная масса объединенной пробы:

Задача достижения равенства  $S_\alpha^2 = S_{\text{доп}}^2$  для неоднородного массива решается только путем выбора необходимого числа точечных проб:

$$N_T = \frac{S_{\alpha_{n_T}}^2}{S_{\text{доп}}^2} \quad (1.23)$$

В таком случае минимальная масса для неоднородного массива  $q_{\text{нм}}$  приобретает единственно возможный вид:

$$q_{\text{нм}} = q_{\text{т}} \cdot N_{\text{т}}. \quad (1.24)$$

При этом первичной величиной, выбираемой по иным критериям, нежели расчет минимальной массы, является масса точечной пробы. Чаще всего выбор массы точечной пробы предопределяется инструментом, используемым для отбора проб [3].

Если в точечную пробу отбирать один кусок ( $q_{\text{т}} = q_{\text{к}}$ ), то

$$S_{\alpha_{\text{нт}}}^2 = S_{\text{к}}^2,$$

$$N_{\text{т}} = \frac{S_{\text{к}}^2}{S_{\text{доп}}^2}.$$

Минимальная масса в таком случае составит

$$q_{\text{нм}} = q_{\text{к}} \frac{S_{\text{к}}^2}{S_{\text{доп}}^2} = f \cdot \rho \cdot d^3 \cdot \frac{S_{\text{к}}^2}{S_{\text{доп}}^2} = q_0. \quad (1.25)$$

Полученная величина в точности равна минимальной массе пробы  $q_0$  для однородного (тщательно перемешанного) массива, на рисунке 1.6 минимальной массе пробы  $q_0$  соответствует точка «А».

Как правило, точечная проба содержит большое число кусков  $n_{\text{т}}$ . Это число достаточно велико, чтобы значение  $S_{\alpha_{\text{нт}}}^2$  было практически равным величине  $S_{\alpha_i}^2$ . Такая дисперсия называется дисперсией точечных проб и обозначается  $S_{\text{т}}^2 \approx S_{\alpha_i}^2$ . Минимальная масса в этом случае будет определяться по условиям точки «В» на рисунке 1.6:

$$q_{\text{нм}} = q_{\text{т}} \cdot \frac{S_{\text{т}}^2}{S_{\text{доп}}^2} = q_{\text{к}} \left[ \frac{S_{\text{к}}^2}{S_{\text{доп}}^2} + (n_{\text{т}} - 1) \cdot \frac{S_{\alpha_i}^2}{S_{\text{доп}}^2} \right] = q_0 + q_{\text{к}} \cdot (n_{\text{т}} - 1) \cdot \frac{S_{\text{т}}^2}{S_{\text{доп}}^2}.$$

Отсюда следует вывод, что минимальная масса  $q_{\text{нм}}$  для неоднородного массива всегда больше минимальной массы для однородного массива  $q_0$  на величину

$$q_{\text{к}} \cdot (n_{\text{т}} - 1) \cdot \frac{S_{\text{т}}^2}{S_{\text{доп}}^2}.$$

Зависимости на рисунке 1.6 демонстрируют новые возможности технологии опробования. Они связаны с уменьшением массы точечной пробы  $q_{\text{т}}$  менее массы одного куска  $q_{\text{к}}$ . Если в точечную пробу отбирать часть куска, то минимальная

масса станет меньше  $q_0$ , изменяясь от массы  $q_0$  вплоть до нуля при изменении массы точечной пробы от  $q_k$  до нуля.

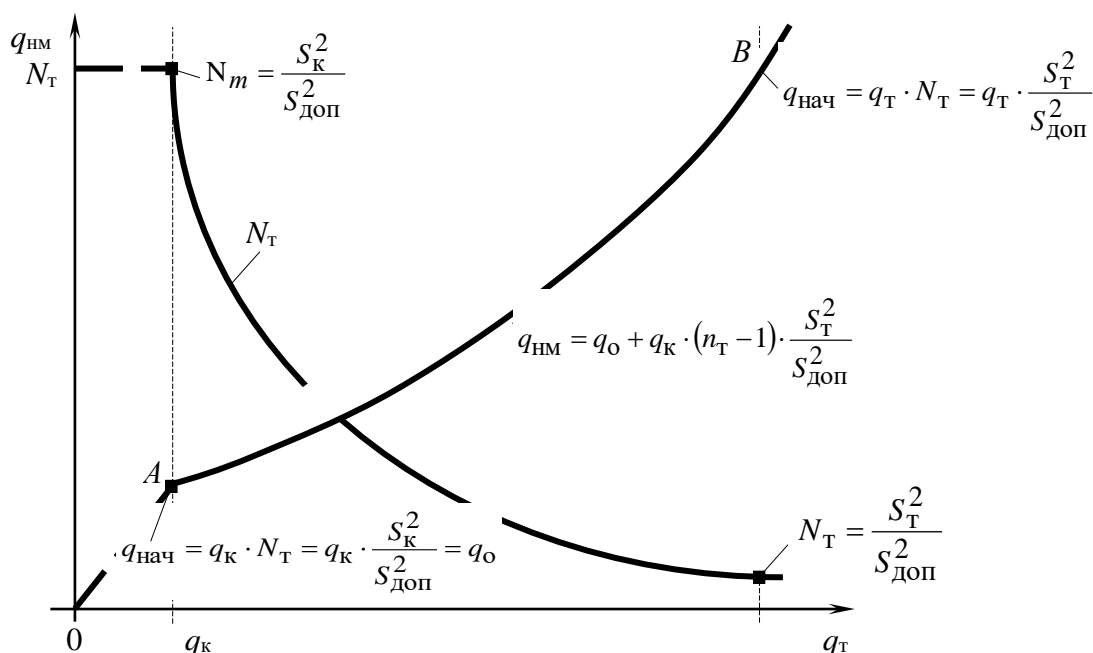


Рисунок 1.6 – Зависимости минимальной массы объединенной пробы и числа точечных проб от массы точечной пробы

Для отбора проб от неоднородного массива важна не только минимальная масса, но и число точечных проб  $N_T$ . Для точечных проб большой массы

$$N_T = \frac{S_T^2}{S_{\text{доп}}^2},$$

и при отборе в точечную пробу части куска число точечных проб  $N_T$  будет достаточно велико.

Отсюда следуют основные выводы:

- отбор от неоднородного массива точечных проб массой  $q_T$  связан с увеличением минимальной массы; данная зависимость тем сильнее, чем больше масса точечной пробы  $q_T$ ;

- возможно снижение минимальной массы пробы для неоднородного массива вплоть до любой малой величины при уменьшении массы точечной пробы до величины значительно меньшей, чем масса одного куска; при этом необходимо отбирать большое число точечных проб.

Так как масса точечной пробы  $q_T$  предопределяется первым принципом опробования [3, 6, 7], то на практике отбираются объединенные пробы, соответствующие точке «В». Такое решение является практичным, так как отбор

небольшого числа точечных проб более предпочтителен в условиях действующего производства.

Вместе с тем, часть зависимости «ОА» (рисунок 1.6) на практике также используется достаточно часто [6]:

1. Известный метод «молотка и совка» и состоит в том, что в точечную пробу отбирается отбитый кусочек.

2. В пробу отбирается пыль, образующаяся при дроблении. Каждая пылинка является маленькой частью, отбитой от куска.

3. В практике опробования применяется пробоотбиратель, снабженный механическим инструментом для откалывания в пробу небольших фрагментов исходных больших кусков. В частности, такой принцип отбора пробы использован в баровом пробоотбирателе для отбора малых точечных проб от потоков угля, содержащих куски большого размера.

Закономерность опробования, представленная на рисунке 1.6 – противоположно направленные нелинейные зависимости минимальной массы объединенной пробы для неоднородного массива и числа точечных проб от массы точечной пробы – является фундаментальной закономерностью для технологии опробования.

Фундаментальная закономерность опробования для неоднородного массива приводит к выводу, что формирование объединенной пробы может быть обеспечено точечными пробами любой массы – от весьма малой (отдельные пылинки) до весьма большой (ковш погрузчика или экскаватора). Поэтому масса точечной пробы выбирается исходя из необходимости выполнения каких-либо дополнительных требований к отбору точечной пробы. Такими дополнительными требованиями являются принципы опробования. Так, например, необходимо, чтобы ширина совка или ковша  $b$  была более величины  $3d_{\max}$ .

Теория опробования, основанная на фундаментальных характеристиках опробуемого массива, носит прикладной характер. Она позволяет выполнять количественное определение случайной погрешности каждого из этапов опробования на основании физико-механических и морфологических свойств опробуемого продукта, а также изменять основные параметры процесса опробования в зависимости от условий опробования в допустимых пределах. Тем не менее, указанный прикладной характер имеет ряд ограничений:

1. Громоздкость и математическая усложненность расчетов. Необходимость выполнять расчет для каждой точки опробования.

2. Теория В. З. Козина не входит в стандарты на опробование.

3. Отсутствие обобщающих практических выводов по всей теории, позволяющих либо упростить существующие технологические решения в части опробования, либо сделать расчет универсальным для всех точек опробования на обогатительной фабрике.

4. Количественное определение дисперсии точечных проб для каждого из опробуемых продуктов трудновыполнимо в условиях действующих обогатительных фабрик.

#### 1.4.4. Систематическая погрешность

Для того, чтобы предусмотреть все варианты исключения возможной *систематической погрешности опробования* на любом этапе работы с пробой (при ее отборе, подготовке и анализе), В. З. Козиным сформулированы два принципа опробования, руководствуясь которыми, можно составить методику правильного опробования, либо проверить на правильность существующую методику (инструкцию).

Первый принцип опробования – равнопредставительность кусков опробуемого массива в точечной пробе в точке ее отбора.

Равнопредставительность можно понимать, как непредпочтительность отбора кусков опробуемого массива в пробу. Технология опробования является многооперационной, и принцип непредпочтительности следует соблюдать при отборе кусков, связанном как с самим отбором проб, так и с сокращением пробы при ее подготовке, а также с отбором навески для анализа.

Предпочтение при отборе кусков в пробу может возникнуть как по субъективным, так и по объективным причинам.

Вариант субъективного предпочтения особенно заметен при горстевом опробовании, известном для крупнокусковых продуктов как метод «молотка и совка» [72]. Откалывание фрагментов большого куска зачастую представляет известную сложность. Например, отбить часть куска марганцевой руды ударом молотка практически невозможно. Кроме того, существуют рекомендации отбивать куски строго определенным образом, например, поперек полосчатости [6, 29]. Все это придает процессу отбора кусков еще больший субъективизм. Проще отобрать сразу более мелкую фракцию в пробу, что непосредственно и приводит к появлению систематической погрешности. Субъективизм может проявиться также в незначительном смещении точки отбора пробы от намеченной.

Объективное предпочтение может возникнуть при несоответствии размера совка или щели пробоотбирателя кускам опробуемого массива. Объективное предпочтение возникает в большинстве случаев использования анализаторов состава непосредственно для анализа в опробуемом массиве, в том числе – в потоках руды.

Первый принцип опробования выполняется выбором пробоотбирающего инструмента с определенными размерами отсекающей куски щели  $b$  и отбирающего пробу определенной массы  $q_T$ .

Ширина отбирающего пробу совка или щели отсекателя принимается из соотношения

$$b \geq 3d_{\max}.$$

где  $d_{\max}$  – максимальный размер кусков опробуемого массива (максимальный размер кусков равняется размеру стороны квадратной ячейки сита, на котором остается 5 % опробуемого материала).

У первого принципа существует два дополнения, уточняющих выполнение принципа:

1а. Не терять отобранный в точечную пробу материал.

Потеря части материала пробы возможна как произвольно, так и сознательно. Произвольно потеря материала происходит при его просыпании в ходе накопления или транспортировки, а также при переполнении пробоотсекающего устройства в процессе отбора пробы. Сознательно потерять материал возможно, удаляя часть пробы по причине, зависящей от исполнителя процесса опробования (вся проба не помещается в емкость, часть материала не проходит через сито, «не понравился» какой-либо кусок и т. п.), либо зависящей от технологии опробования (аспирация при дроблении, остатки пробы в транспортирующих трубах, остатки пробы на инструментах и т. п.).

1б. Не добавлять в пробу посторонний материал.

Добавить посторонний материал в пробу можно также произвольно и сознательно.

Произвольно добавляется в пробу материал при просыпании других продуктов, а также при использовании инструментов и оборудования с остатками предыдущих проб. Согласно ГОСТ 14180-80 [15] все механизмы, инструменты, оборудование, пробоприемные устройства должны быть очищены от загрязнений, проверены и отрегулированы. Пробы следует предохранять от изменения их состава на всех стадиях отбора, подготовки и хранения.

Сознательно добавить посторонний материал можно при недостатке материала пробы, а также при желании изменить результат опробования.

Таким образом, выполнение первого принципа опробования обеспечивается правильным выбором параметров (размеров) пробоотбирающего инструмента и тщательным соблюдением технологии работы с пробой, исключающей ее загрязнение или потери.

Второй принцип опробования – равнопредставительность элементов опробуемого массива в объединенной пробе.

Неоднородность опробуемого массива приводит к тому, что отобранная точечная проба соответствует какому-то одному значению массовой доли, но не необходимому среднему для опробуемого массива.

Найдено следующее решение, позволяющее реализовать второй принцип: неоднородный опробуемый массив нужно разделить на некоторое число небольших элементов, каждый из которых можно было бы считать однородным (перемешанным).

Если от каждого однородного элемента отобрать одну точечную пробу и объединить все точечные пробы в одну новую объединенную пробу, то систематическая погрешность опробования может быть устранена.

Точечную пробу следует отбирать в центре тяжести элемента.

Таким образом, с целью получения правильной пробы необходимо выполнять второй принцип – равнопредставительность элементов опробуемого массива в объединенной пробе.



У второго принципа имеются два дополнения:

2а. Не сгущать точечные пробы.

Отбирать точечные пробы следует в центре тяжести массы каждого выделенного элемента. Точечные пробы нельзя отбирать у границ элементов.

2б. Не выходить за пределы опробуемого массива.

Нарушение возможно при неясных границах опробуемого массива.

Реализация второго принципа осуществляется в следующей последовательности:

1. Рассчитать число элементов, на которое нужно разделить опробуемый массив – фактически, найти число точечных проб.

2. Разделить опробуемый массив на найденное число элементов.

3. Для неподвижного опробуемого массива необходимо составить схему (проект) с нанесением границ элементов и указанием точек отбора проб. Для потоков необходимо найти интервалы времени, через которые будут отбираться пробы.

Равнопредставительность элементов опробуемого массива в пробе следует обеспечивать не только при отборе проб, но также при их подготовке и анализе.

Уменьшение массы пробы при ее подготовке к анализу, называемое сокращением пробы, является, по существу, отбором пробы от пробы. При этом, как при подготовке пакета с пробой, так и при отборе навески для анализа от содержимого пакета, фактически отбирается объединенная проба.

Отбор объединенной пробы всегда связан с определением числа точечных проб.

При всем подробном изложении принципов опробования они не являются полными:

1. В первом принципе не отражены требования к выполнению самого отбора пробы:

- требования к скорости пересечения потока;
- требования к направлению пересечения потока;
- требования к форме и объемным габаритам пробоотсекающей щели.

2. Во втором принципе не указаны требования к обеспечению (контролю) однородности элемента опробуемого массива в точке отбора пробы.

В ТОС П. Жи, а также во всей теории и практике опробования за рубежом, определение и устранение систематической погрешности выполняется исключительно на основании экспериментальных данных [113, 1146. Это приводит к высокой трудоемкости определения и устранения систематических погрешностей.

## 1.5. Специфические погрешности результата опробования

### 1.5.1. Вероятная систематическая погрешность

Развитие современных теоретических знаний в области процессов опробования, основанных на асимметричных распределениях массовой доли контролируемого компонента по опробуемому массиву (теория опробования В. З. Козина), позволило установить новую погрешность опробования, получившую название *вероятной систематической погрешности* (ВСП) [2, 42, 46]. ВСП является составляющей погрешности результата опробования. Она имеет систематический характер действия на результат опробования и вероятностный характер появления. ВСП обнаруживается при повторных определениях одного и того же параметра в виде закономерного повторяющегося отклонения получаемых результатов, имеющего непостоянный характер появления. ВСП может быть устранена полностью или уменьшена до незначимого уровня.

ВСП не учитывается ни одним из существующих отечественных и зарубежных стандартов. Влияние ВСП на результат опробования до сегодняшнего времени не оценивалось.

Число точечных проб в процессе опробования почти всегда ограничено возможностями операций подготовки объединенной пробы и технической целесообразностью. Каждая из точечных проб характеризуется своим значением массовой доли, который находится в известном диапазоне возможных значений от  $\alpha_{\max}$  до  $\alpha_{\min}$ . При этом вероятность каждого из значений массовой доли в точечных пробах различна. С наибольшей вероятностью значение массовой доли будет соответствовать моде распределения (рисунок 1.7). В случае асимметричных распределений мода распределений и ее среднее значение не совпадают. Из этого следует, что с некоторой вероятностью возможна погрешность полученного опробованием результата. Так как знак этой погрешности постоянен, такая погрешность носит название вероятной систематической погрешности.

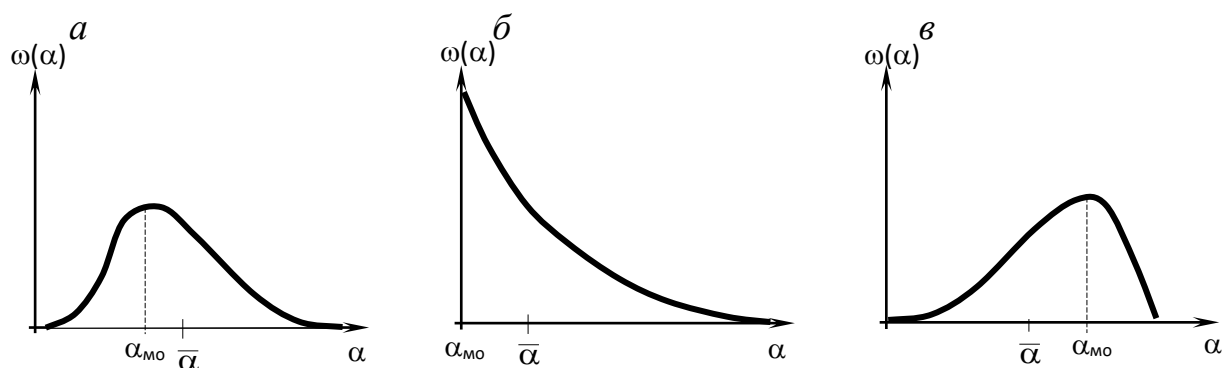


Рисунок 1.7 – Варианты соотношения моды и среднего значения массовой доли

Из рисунка 1.7а и 1.7б следует, что при правосторонней асимметрии мода меньше среднего значения, следовательно, ВСП будет отрицательной.

Если распределение такое, как на рисунке 1.7б, когда  $\alpha_{\text{мо}} = 0$ , то ВСП принимает следующий вид:

$$\Delta\alpha_{\text{всп}} = -\bar{\alpha}. \quad (1.26)$$

Таким образом, при опробовании относительно бедных продуктов массовая доля компонента в них занижается.

При опробовании богатых продуктов массовая доля компонента в них завышается (рисунок 1.7в).

Общая формула ВСП позволяет оценить специфическую погрешность, которая возникает при отборе конечного числа точечных проб  $N_T$ :

$$\Delta\alpha = -\frac{S_\alpha^2}{\bar{\alpha} \cdot N_T}, \quad (1.27)$$

где  $S_\alpha^2$  – экспериментально найденная дисперсия массовой доли;  $\bar{\alpha}$  – среднее значение массовой доли;  $N_T$  – число точечных проб.

Влияние на результат опробования ВСП может быть наглядно показано на основании изучения статистики последовательного опробования одних и тех же партий продуктов переработки [42, 133, 134]. Наиболее характерно влияние ВСП на результат товарного опробования, когда одна и та же партия подвергается выходному опробованию у поставщика и входному опробованию у потребителя [102, 135]. Как правило, ВСП проявляет себя при опробовании самых бедных и самых богатых продуктов [3, 6, 46]. В результате действия ВСП при опробовании относительно бедных продуктов массовая доля контролируемого компонента в них занижается, при опробовании относительно богатых продуктов массовая доля контролируемого компонента в них завышается. Так как у поставщика и потребителя опробуется один и тот же продукт, ВСП поставщика и потребителя будут иметь один и тот же знак. Это означает, что анализом разности результатов последовательного опробования одного и того же продукта ВСП не может быть обнаружена. Обнаружение и количественная оценка ВСП в схеме «поставщик-потребитель» возможна при исключении ее влияния на один из результатов опробования при условии, что случайная погрешность этого результата будет заведомо малой.

Возникает ВСП также при подготовке и анализе проб. При выполнении этих операций предусматривается перемешивание и сокращение или отбор навески в виде порции. Для объяснения появления ВСП при этих операциях следует рассматривать распределения массовой доли в точечных пробах (порциях, навесках).

Для бедных продуктов целесообразно использовать распределение Пуассона [6, 7, 101, 136, 137], позволяющее построить это распределение, зная только среднее значение числа зерен определяемого компонента в пробе, обозначенное  $\bar{m}$ :

$$P_m = \frac{\bar{m}^m}{m!} \cdot e^{-\bar{m}}, \quad (1.28)$$

где  $m$  – возможное число зерен определяемого компонента в порции или навеске;  $P_m$  – вероятность появления навесок с числом зерен  $m$ :

$$\bar{m} = \frac{q_M}{q_3} = \frac{q \cdot \bar{\alpha}_M}{q_3} = \frac{q \cdot \bar{\alpha}_M}{f \cdot \rho_M \cdot \bar{d}_3^3} = \frac{q \cdot \alpha}{\beta_M \cdot f \cdot \rho_M \cdot \bar{d}_3^3}. \quad (1.29)$$

где  $q_M$  – масса зерен с контролируемым компонентом в пробе;  $q_3$  – масса одного зерна с контролируемым компонентом;  $q$  – масса пробы;  $\bar{\alpha}_M$  – средняя массовая доля зерен с контролируемым компонентом в опробуемом массиве;  $\alpha$  – массовая доля контролируемого компонента;  $\rho_M$  – плотность зерна с контролируемым компонентом;  $f$  – коэффициент формы;  $\beta_M$  – массовая доля контролируемого компонента в зерне;  $\bar{d}_3$  – средний размер зерна с контролируемым компонентом в пробе.

Распределение Пуассона характерно тем, что для него численно равны среднее  $\bar{m}$  и дисперсия  $\bar{m}$  (важно, что размерность среднего – «штуки», а дисперсии – «штуки в квадрате»).

Тогда выражение ВСП для навески примет вид:

$$\Delta m = -\frac{S_m^2}{1 \cdot m} = -\frac{\bar{m} \text{ шт}^2}{m \text{ шт}} = -1 \text{ шт} \quad (1.30)$$

Из приведенной зависимости следует вывод: ВСП, выраженная в зернах, содержащих контролируемый компонент, всегда равна единице с отрицательным знаком [6]. Таким образом, независимо от числа зерен с контролируемым компонентом в навеске, существует некоторая вероятность отобрать в пробу на одно зерно меньше, чем среднее число зерен (если в пробе в среднем ожидается присутствие одного зерна, то вероятнее всего, его в пробе не окажется).

Существует функциональная связь между вероятной систематической и случайной погрешностью.

Величина ВСП для одной пробы

$$\Delta \alpha_{\text{всп}} = \frac{S_\alpha^2}{\alpha}. \quad (1.31)$$

## Относительная ВСП

$$P_{\text{всп}} = \frac{\Delta\alpha_{\text{всп}}}{\alpha} = \frac{S_{\alpha}^2}{\alpha^2} = \frac{P_{\text{сл}}^2}{t} \approx \frac{P_{\text{сл}}^2}{4}. \quad (1.32)$$

В формулу величины  $P_{\text{всп}}$  и  $P_{\text{сл}}$  следует подставлять в долях единицы.

Из приведенных зависимостей следует, что обе погрешности, вызванные асимметричным распределением массовой доли в точечных пробах, имеют взаимную функциональную связь.

Случайная погрешность, записываемая как доверительные интервалы распределения результатов измерений, имеет переменный знак. Для симметричных распределений отклонения в разные стороны от среднего равновероятны.

Для асимметричных распределений результатов измерений ситуация будет иная: при опробовании асимметрия вызвана физической сущностью процесса измерения, включающего в себя процедуры отбора пробы и сокращения (фактически, уменьшения массы пробы). Асимметрия приводит к появлению ВСП.

В этом случае доверительные интервалы случайной погрешности таковы, что левая граница может уходить в область отрицательных значений. Действующие ГОСТы, регламентирующие процессы отбора и подготовки проб, предусматривает выполнение товарного опробования только способом поперечного пересечения потока [10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 21]. Это позволяет исключить систематическую погрешность, связанную с неоднородностью материала в поперечном сечении. При этом число точечных проб, полученных способом поперечного пересечения, имеет ограничение, связанное с допустимой массой начальной пробы. Таким образом, в большинстве случаев указанным способом выполняется отбор сравнительно небольшого числа точечных проб. Так как части (элементы) потока, от которых отбираются точечные пробы, достаточно велики, в отбираемых точечных пробах могут не отражаться кратковременные изменения массовой доли контролируемого компонента. Это приводит к возникновению ВСП. Так, например, если от потока производительностью 100 т/ч способом поперечного пересечения отбирается одна точечная проба с периодичностью 10 минут, то масса элемента потока, от которого отбирается проба, составит 16,7 т. Неоднородность такого большого элемента потока может быть весьма значительной, что может напрямую повлиять на возникновение ВСП результата опробования.

График на рисунке 1.8 дает наглядную модель влияния ВСП на результат опробования при отборе точечных проб способом поперечного пересечения. Пусть на интервале  $\Delta t = 10$  мин. отобраны точечные пробы № 1 и № 2. Если бы массовая доля определяемого компонента в потоке не менялась и была равна 0,1 %, проба № 2 представила бы массу руды на интервале  $\Delta t$  правильно. Но на данном интервале произошло изменение массовой доли («всплеск»)

продолжительностью  $\Delta t_b = 25$  с при амплитуде  $\Delta\alpha_b = 0,2$  %, что привело к изменению массовой доли на рассматриваемом интервале: фактическая массовая доля составила

$$\alpha = 0,1 + 0,2 \cdot 0,25 / 10 = 0,105 \text{ \%}.$$

При этом анализ пробы № 2 покажет массовую долю 0,1 %.

В рассмотренной ситуации отбор точечных проб правильным способом поперечного пересечения потока привел к занижению фактической массовой доли на 0,005 %. Относительная величина этого занижения составляет  $(0,005/0,1) \cdot 100 = 5$  %.

Так как «всплески» для сравнительно бедных продуктов обогащения (руда и хвосты) обычно бывают положительными, массовая доля в бедных продуктах при отборе проб способом поперечного пересечения систематически занижается с той или иной долей вероятности вследствие действия ВСП [6, 7, 50, 134, 138, 139]. Для сравнительно богатых продуктов (концентраты) характерно вероятное систематическое завышение массовой доли.

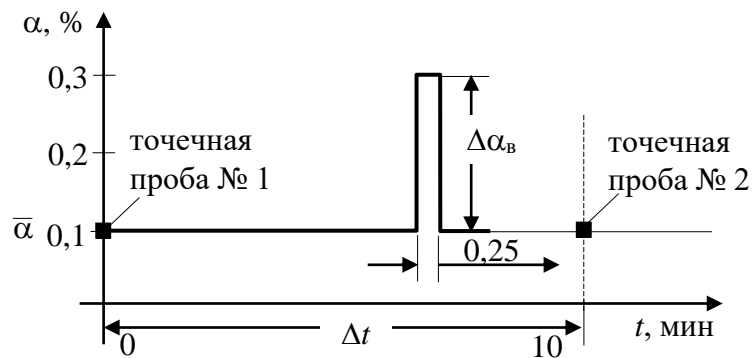


Рисунок 1.8 – Пояснение влияния ВСП на результат опробования при отборе точечных проб способом поперечного пересечения

Несмотря на многочисленные проявления при опробовании руд и продуктов обогащения, ВСП на практике не рассчитывается и не определяется. Проявления ВСП чаще всего относят к специфическим необъяснимым эффектам опробования либо к погрешностям, которые могут быть устранены при правильном опробовании.

Проявления ВСП связаны с технологией опробования. При опробовании отбирают точечные пробы, после анализа которых находят среднее значение массовой доли. Так как число точечных проб всегда ограничено и обычно невелико, то в них не попадают редкие пробы, массовая доля в которых значительно отличается от среднего значения. Это и приводит к тому, что среднее значение массовой доли в бедных продуктах оказывается заниженным, а в богатых – завышенным на величину ВСП. Компенсируют это занижение (или завышение) так называемые ураганные пробы, которые обычно рассматриваются

как погрешности опробования и исключаются из расчетов. Тем самым ВСП превращается в систематическую погрешность.

Если имеется возможность выполнить отбор проб от одного и того же опробуемого массива способом поперечного пересечения (небольшое число точечных проб) и способом продольного пересечения (большое число точечных проб), то определить  $\Delta\alpha_{\text{ВСП}}$  можно непосредственно путем сопоставления результатов опробования. Результаты опробования оказываются разными, и отличаются они именно на величину  $\Delta\alpha_{\text{ВСП}}$ :

$$\Delta\alpha_{\text{ВСП}} = \bar{\alpha}_{\text{поп}} - \bar{\alpha}_{\text{пр}}.$$

Опробование по указанной схеме было реализовано на одной из медно-цинковых обогатительных фабрик [3]. На одном и том же продукте (хвостах) был выполнен отбор проб как способом поперечного, так и способом продольного пересечения. При отборе проб способом поперечного пересечения (1300 проб) зафиксировано занижение массовой доли меди в хвостах на 0,025 % и цинка на 0,06 %, что составляет занижение по меди на 8,22 % и по цинку на 8,28 %.

Аналогичная работа выполнена на хвостах золотоизвлекательной фабрики [3]. При отборе проб каждый час способом поперечного пересечения в течение месяца средняя массовая доля золота в хвостах составила 0,499 г/т, а при отборе проб способом продольного пересечения – 0,527 г/т. Занижение составило 0,028 г/т, или 5,3 %.

Оценка ВСП возможна при сопоставлении результатов анализа одних и тех же продуктов у поставщика и потребителя. Поставщики – обогатительные фабрики – обычно имеют меньше возможностей качественно отобрать пробы от концентратов, чем заводы-потребители. Тогда, приняв за опорное значение результат опробования у потребителя (завода), можно получить оценку ВСП у поставщика – обогатительной фабрики. Такое сопоставление выполнено на поставках медного концентрата по тринадцати партиям из 30 вагонов [3]. Получено, что на обогатительной фабрике завышается качество концентрата по меди на 0,187 % (один относительный процент), по золоту занижается на 0,34 г/т (1,5 %), по серебру занижается на 0,35 г/т (1,4 %).

На этой же обогатительной фабрике выполнено сопоставление качества концентрата по меди по сменным пробам на производстве (19,68 %) и при отгрузке (19,04 %). Завышение на производстве составило 0,64 % (3,4 % относительных). Сравнение качества цинкового концентрата, полученного опробованием кека вакуум-фильтра (48,05 %) и на отгрузке концентрата (46,18 %), показало, что при опробовании кека массовая доля цинка в концентрате завышается на 1,87 %.

### 1.5.2. Методическая погрешность

Неизбежной причиной возникновения *методической погрешности* является асимметрия распределения массовой доли контролируемых компонентов в точечных пробах [6, 62, 140]. Методическая погрешность – это погрешность, вызванная упрощениями, предусмотренными методиками определения параметров.

При опробовании продуктов обогащения искусственно создаваемой причиной появления методической погрешности является использование алгоритма обработки результатов анализа. Такой алгоритм утвержден методиками выполнения измерений (МВИ) и включает в себя процедуру исключения из выборки результатов анализа параллельных навесок, не попавших в доверительный интервал аттестованной МВИ [6, 50]. Если бы распределения массовой доли подчинялись нормальному закону распределения [56, 101, 136, 137, 141], то исключаемые результаты имели бы разные знаки, а найденное по стандартному алгоритму обработки результатов среднее значение было бы правильным. Однако если распределение асимметрично, то неизбежно будут исключены истинные результаты, превышающие правую границу предела воспроизводимости для правоасимметричных распределений, для левоасимметричных распределений – превышающие по абсолютной величине левую границу [6, 46, 50, 104, 140].

Для исключения возможных ошибок во всех методиках анализа предусматривается выполнение анализа на двух и более параллельных навесках, после чего рассчитывается разность результатов:

$$\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2. \quad (1.33)$$

Полученная разность сравнивается с заранее найденным пределом воспроизводимости (повторяемости)  $R$  и  $r$  [6, 7]. Предел воспроизводимости  $R$  (повторяемости  $r$ ) находится с доверительной вероятностью 95 % с учетом того, что каждый из результатов характеризуется погрешностью воспроизводимости (повторяемости):

$$R = 1,96 \cdot \sqrt{2} \cdot S_B = 2,8 \cdot S_B; \quad (1.34)$$

$$r = 1,96 \cdot \sqrt{2} \cdot S_{\Pi} = 2,8 \cdot S_{\Pi}. \quad (1.35)$$

Если полученная разность  $\Delta\alpha$  превышает этот предел, необходимо выполнить анализы на новых параллельных навесках, после чего сравнить разность новых результатов и т. д.

В большинстве нормативных документов, регламентирующих процедуру анализа, установлен следующий алгоритм обработки результатов:



1. Если расхождение между результатами параллельных определений превышает допускаемое значение расхождения, проводится повторное определение.

2. Если расхождение между результатами, полученными по двум навескам при первоначальных и двум навескам при повторных определениях, превышает допускаемое, то из четырех результатов отбрасываются максимальная и минимальная величины и за окончательный результат анализа принимается среднее арифметическое двух оставшихся значений.

Алгоритм основан на предположении, что различие  $\Delta\alpha$  вызвано случайными погрешностями, распределенными нормально, не допуская, что возможно не нормальное, а асимметричное распределение самой определяемой массовой доли в анализируемых навесках.

Один из возможных стандартных алгоритмов выполнения и выдачи результатов анализа  $\alpha$  представлен на рисунке 1.9 [6, 50, 140].

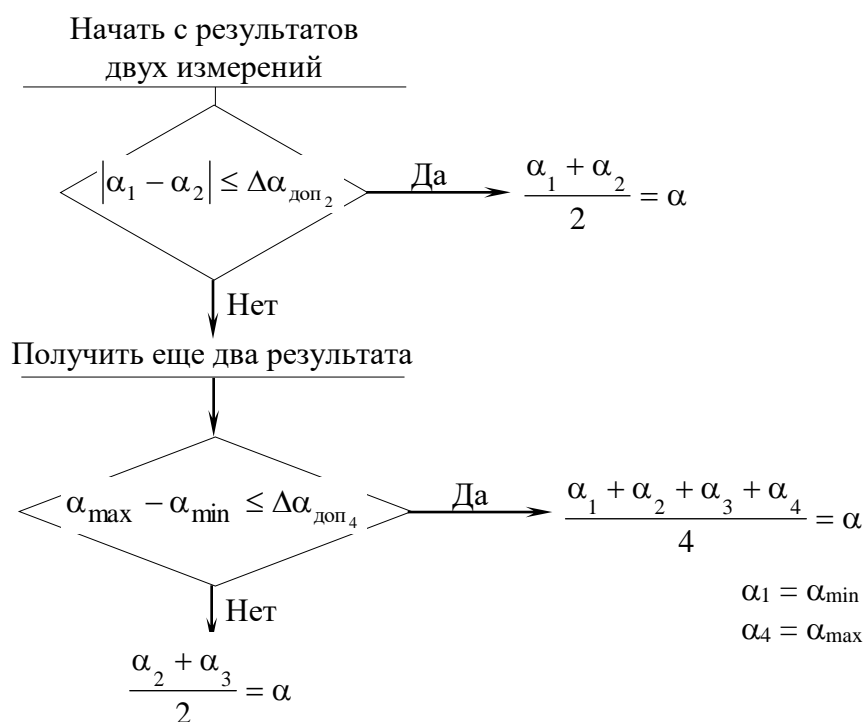


Рисунок 1.9 – Алгоритм получения результата анализа на массовую долю

Принципиально важным в стандартном алгоритме обработки результатов является возможное отбрасывание (исключение, «браковка») результатов анализа с последующим расчетом медианы.

В случае, если бы распределения массовой доли носили нормальный характер, то отбрасываемые результаты, среди которых могут быть и истинные, имели бы разные знаки, и найденное по стандартному алгоритму среднее значение в среднем было бы правильным. Однако если распределение асимметрично, отбрасываются преимущественно истинные результаты, превышающие правую границу предела воспроизводимости для правоасимметричных распределений, для левоасимметричных распределений –

превышающие по абсолютной величине левую границу. Тогда получаемый результат в среднем оказывается заниженным для правоасимметричных распределений (бедные продукты) и завышенным для левоасимметричных (богатые продукты). В результате появляется *методическая погрешность*, определяемая формулами.

Причиной возникновения методической погрешности, как и вероятной систематической, является асимметрия распределения массовой доли в точечных пробах. Однако величина методической погрешности непосредственно связана с алгоритмом обработки результатов анализа: алгоритмом расчета и величиной предела воспроизводимости.

Предел воспроизводимости – доверительный интервал для расхождения результатов анализов устанавливается на основе испытаний методики анализа (методики измерений). При этом испытания методики дают только среднеквадратичную погрешность. Предел испытаний устанавливается для определенной доверительной вероятности и может быть увеличен или уменьшен [50, 140].

Возникновение методической погрешности может происходить также из-за принятого алгоритма учета ураганных проб.

Понятие ураганной пробы является широкоизвестным [3, 6, 43, 46, 50, 60, 68, 77, 103, 133, 142, 143, 144]. На основании представлений о нормальных распределениях вероятности, рекомендуется считать ураганными те пробы, массовые доли ценного компонента в которых отличаются от средней массовой доли большинства проб на величину более трех среднеквадратичных отклонений. При этом практический опыт отнесения проб к ураганным может приводить к решениям иного характера. Так, например, в ряде случаев к ураганным пробам были отнесены пробы, массовая доля платины в которых превышала среднее значение в 3 – 5 раз [6, 43, 46]. В этом случае решение об отнесении пробы к ураганной никак не связано с величиной трех среднеквадратичных отклонений.

Принципиальным является также вопрос об алгоритме учета ураганных проб в расчетах показателей обогащения и при составлении балансов. Алгоритм учета ураганных проб с большой вероятностью может вызывать методическую погрешность. Современная теория опробования рекомендует исключать ураганные пробы из расчетов, объединяющих небольшое число проб, обычно отбираемых за короткий контрольный период (смена, сутки), и включать в расчеты при большом числе проб, отбираемых за относительно большой контрольный период (декада, месяц) [6, 43, 102, 133, 135].

В технологию получения результата опробования и использования этого результата на разных этапах ее реализации зачастую вносятся элементы субъективизма исполнителя: смещение реальной точки отбора точечной пробы от намеченной, неправильная установка пробоотбирателя или неправильный ручной отбор пробы, потери части материала пробы, при использовании не полностью отчищенных инструментов, а также сокращение сегрегированной пробы методом квадратования.

В использовании результатов опробования методическая погрешность возникает в случае исключения из рассмотрения каких-либо результатов опробования:

- в аналитической лаборатории при получении результатов анализа, разность которых превышает допустимые отклонения;
- в ОТК при отнесении результатов опробования к ураганным.

### **1.6. Задачи исследования**

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 зачастую противоречат друг другу и демонстрируют результаты расчетов, отличающиеся друг от друга в несколько раз. Также отсутствуют исследования в части экспериментальной оценки систематических погрешностей и декларированных новых специфических погрешностей, связанных с особенностями получения точечных оценок для асимметричных распределений.

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. Товарное опробование неподвижных масс выполняется, фактически, исключительно с использованием способа вычерпывания и его упрощенной разновидности. Товарное опробование движущихся продуктов предполагает применение для отбора точечных проб исключительно способа поперечного пересечения потока. Оперативное технологическое опробование выполняется преимущественно с использованием способа продольного пересечения потока как для перегружаемых неподвижных масс, так и для движущихся продуктов.

Оба названных способа пересечения потока для отбора точечных проб и формирования начальной пробы характеризуются как недостатками, так и преимуществами, а также имеют особенности, ранее не изученные и не отраженные в нормативной документации.

Способы поперечного и продольного пересечения потока имеют различные варианты механизации. При этом, существующее устройство и принцип действия оборуования для отбора и сокращения проб представляют собой прямую

механизацию операций ручного опробования: способы пересечения потока идентичны, число и масса точечных проб сопоставимы.

Новые специфические погрешности результата опробования, обусловленные асимметричным распределением ценного компонента по опробуемому массиву, не отражены в существующей нормативной документации ни на уровне простого учета, ни на уровне алгоритма снижения их величины до приемлемого значения.

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

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.

## 2. Систематическая погрешность результата опробования

### 2.1. Принципы правильного опробования

Между определяемой с помощью опробования величиной массовой доли контролируемого компонента и ее истинным значением существует разность, называемая погрешностью опробования  $\Delta\alpha$ .

Как любая погрешность измерения, погрешность опробования может быть разделена на две составляющие: систематическую и случайную:

$$\Delta\alpha = \Delta\alpha_{\text{сист}} + \Delta\alpha_{\text{сл.}}$$

Эти погрешности измерения предусматривает Государственный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 5725-1, 2, 3, 4, 5, 6-2002 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений» [35].

Правильность результата опробования предопределяется величиной *систематической погрешности*.

Прецизионность результата опробования предопределяется величиной *случайной погрешности*.

*Систематическая погрешность* – это разность между средним результатом измерения, полученным многократным опробованием, и истинным значением измеряемого показателя (чаще всего – массовой доли).

Если систематическая погрешность приемлема, т. е. не превышает допустимой величины, опробование называют *правильным*.

Если систематическая погрешность возникла до подготовки аналитической пробы, то анализ контрольной и арбитражной проб не позволит ее установить, а анализы этих проб будут сопровождаться одной и той же неустранимой систематической погрешностью. Поэтому методики опробования должны быть составлены таким образом, чтобы ни одна из очевидных возможных причин появления систематической погрешности не могла возникнуть и повлиять на результат опробования. Для этого методика опробования составляется максимально подробно, с необходимыми расчетами и выбором решений, а выполнение этой методики является обязательным и не допускает отклонений.

Зарубежная теоретическая и практическая база процессов опробования предусматривает исключительно экспериментальный путь определения систематических погрешностей [3, 36, 37, 38]. В частности, в международном стандарте ISO 13292 [39] приведены сравнительные результаты опробования медного и свинцового концентратов с целью выявления систематической погрешности. Основой предлагаемых методов является сравнение двух независимых выборок распределенных величин, экспериментальное определение t-критерия Стьюдента и сравнение его с табличным значением.

Проверку того, что причина действительно вызывает систематическую погрешность, возможно выполнить по критерию Стьюдента:

$$t_p = \frac{\bar{\alpha}_1 - \bar{\alpha}_2}{S_{\Delta\bar{\alpha}}} \geq t_T,$$

где  $\bar{\alpha}_1$  и  $\bar{\alpha}_2$  – среднее значение массовой доли до и после устранения предполагаемой причины возникновения систематической погрешности;  $S_{\Delta\bar{\alpha}}$  – среднеквадратическое отклонение разности средних;  $t_p$  и  $t_T$  – расчетное и табличное значения критерия Стьюдента.

Систематической погрешностью является разность между математическим ожиданием результатов измерений и принятым опорным значением. Если выполняется условие  $t_p > t_T$ , то предполагаемая причина действительно вызывает значимую систематическую погрешность. Такую систематическую погрешность нужно устранить.

## 2.2. Нарушение принципов правильного опробования

Неоспоримым преимуществом применения принципов правильного опробования является отказ от необходимости выполнения экспериментов по обнаружению систематических погрешностей.

Причины появления систематических погрешностей при опробовании продуктов обогащения на массовую долю ценного компонента могут быть установлены по результатам обследования оборудования, инструментов и приспособлений, при помощи которых выполняется опробование, а также изучения рабочей документации предприятия [3, 6, 46, 145]. Появление систематических погрешностей определения массовой доли ценного компонента может происходить на всех этапах опробования от отбора начальной пробы до подготовки навески (пробы) для анализа.

Для обнаружения систематической погрешности массовой доли ценного компонента нужно назвать предположительную причину ее появления. Ниже перечислены примеры точек и процессов опробования минеральных продуктов, в которых возможно возникновение значимой систематической погрешности:

1. Несоответствие процесса отбора точечных проб и их сокращения первому принципу правильного опробования [6, 145]:

1.1. Нарушения при использовании ручного пробника для отбора точечной пробы от потока:

1.1.1. *Несоответствие длины щели ручного пробника (пробоотбирателя) ширине пересекаемого потока*

Длина щели ручного пробника, используемого для отбора точечных проб, составляет 200 мм.

Ширина опробуемого потока составляет 300 мм.

### 1.1.2. *Отсутствие возможности полного вывода ручного пробника из опробуемого потока*

Возможность вывода пробника в сторону от потока до начала его пересечения и после пересечения отсутствует для некоторых типов спиральных классификаторов и грохотов.

### 1.1.3. *Отсутствие возможности полного пересечения опробуемого потока*

Отбор точечных проб пульпы выполняется способом периодического поперечного пересечения при помощи ручного пробника цилиндрической формы объемом один литр через верхнее окно в транспортирующем желобе. При таком способе отбора пробы из желоба прямоугольного сечения практически невозможно выполнить полное пересечение потока как в горизонтальной плоскости, так и в вертикальной плоскости (боковые стенки и нижняя стенка препятствуют подведению пробника со стороны к краю потока). Также возможно заполнение пробника до окончания периода отбора точечной пробы, когда даже при условии полного пересечения потока часть этого потока не попадет в пробу.

### 1.1.4. *Несоответствие объема ручного пробника объему точечной пробы*

Отбор точечной пробы выполняется на перепаде потока.

Условия пересечения потока ручным пробником:

- объем ручного пробника составляет 0,002 м<sup>3</sup>;
- ширина отсекающей щели ручного пробника составляет 20 мм;
- ширина опробуемого потока (переливного порога) – 600 мм;
- минимальная продолжительность пересечения потока на переливном пороге приемного короба со скоростью 0,6 м/с составляет 1,0 с;
- производительность потока по пульпе составляет 1 000 м<sup>3</sup>/ч.

Для указанных условий объем точечной пробы составляет 0,0033 м<sup>3</sup>. Таким образом, объем ручного пробника условиям отбора точечных проб не соответствует. В подобных случаях рабочие инструкции по опробованию иногда предписывают не допускать перелива пробы из ручного пробника за счет увеличения скорости пересечения. Данная рекомендация для рассматриваемых условий является некорректной, так как для предотвращения перелива пробы из ручного пробника при полном поперечном пересечении потока шириной 600 мм скорость пересечения должна составлять не менее 1,5 м/с (превышение максимальной скорости пересечения в 2,5 раза).

Для большинства руд характерно неравномерное распределение массовой доли ценных компонентов по классам крупности. Так, например, относительно тонкие классы крупности могут иметь массовую долю меди до 1,5 %, а относительно крупные – не более 0,7 %. Из ручного пробника при его переполнении могут быть потеряны, в основном, тонкие относительно богатые классы крупности. Проверка на соответствие объема ручного пробника объему точечной пробы выполнена для одной из обогатительных фабрик. Из восьми точек опробования требованиям по объему пробника соответствовали только две точки. Попытка устранения несоответствия на практике выполняется не полным пересечением опробуемого потока, а дискретным его пересечением на нескольких

участках – помещением ручного пробника в опробуемый поток в трех-четырех точках, равномерно распределенных по ширине потока.

1.1.5. *Несоответствие размеров щели пробоотсекающего инструмента крупности опробуемого продукта*

Данное несоответствие возникает в тех точках опробования, где отбор точечных проб выполняется при помощи нестандартного инструмента.

1.1.6. *Неполное или неравномерное пересечение опробуемого потока*

В точке опробования пульпы отбор точечных проб выполняется ручным пробником из объема емкости. Длина рабочей поверхности пробника значительно меньше глубины слоя пульпы. При таком способе отбора пробы ручной пробник при погружении в объем пульпы на глубину своей длины (диаметра) окажется сразу же заполненным пульпой из верхнего слоя опробуемого объема. Дальнейшее погружение пробника в объем пульпы по любой траектории с любой возможной скоростью не приведет к равнопредставительному его заполнению пульпой из нижних слоев объема. При остановке пробника в глубине объема пульпы он может быть заполнен пульпой с этой глубины, которая при определенных условиях может заместить находившуюся внутри пробника пульпу с поверхности емкости.

1.1.7. *Изменение параметров процесса отбора проб*

Характеристики пробоотборного инструмента и правила его применения при отборе проб устанавливаются в соответствии с требованиями *правильного* опробования [16, 20, 25]. Для механических пробоотборников соответствие этим требованиям оценивается однозначно:

- если наблюдается соответствие, то оно будет сохраняться на весь период работы устройства без изменения его конструкции и условий работы (износ, выход из строя, регулировка и т. п.);

- если наблюдается несоответствие, то оно будет сохраняться до момента устранения.

Применительно к отбору проб при помощи ручного инструмента однозначная оценка неприменима по причине отсутствия в работе человека абсолютной повторяемости и воспроизводимости действий [2, 9, 13, 39 – 42]. Отсутствие указанных показателей составляет общеизвестный «человеческий фактор». На одной из обогатительных фабрик при отборе проб одним и тем же ручным пробником от потока постоянной производительности в течение одних суток получены разные результаты (таблица 2.1). Объем проб в разных сменах отличается более, чем на 30 %. В пределах одной смены объем точечных проб отличается почти в три раза. Таким образом, требования к *правильному* отбору проб могут быть нарушены из-за «человеческого фактора».

1.2. Нарушения при использовании механизированного отбора проб от потока:

1.2.1. *Неполное опробование разделенного потока*

Опробуемый поток через разделительный короб предварительно делится на два различных по объему потока. Пробоотборник установлен на малом потоке. Большой поток пробоотборником не опробуется.



Таблица 2.1 – Изменение объема точечных проб в одинаковых условиях отбора

Время отбора точечной пробы	Объем точечной пробы, л		
	смена 1	смена 2	смена 3
1-й час	0,8	0,7	0,5
2-й час	0,8	0,8	0,5
3-й час	0,8	0,9	0,5
4-й час	0,4	0,5	0,5
5-й час	0,6	0,6	0,5
6-й час	1,1	0,9	0,5
7-й час	0,6	1,4	0,5
8-й час	1,1	0,5	0,6
Итого за смену	6,2	6,3	4,1

### 1.2.2. Недостаточный объем пробоотсекателя

Условия поперечного пересечения потока механическим пробоотборником:

- объем пробоотсекателя составляет  $0,0008 \text{ м}^3$  (0,8 литра);
- ширина щели пробоотсекателя – от 4 до 10 мм (изменение ширины щели выполняется путем замены вкладышей);
- площадь щели пробоотсекателя, занятая потоком пульпы при отборе точечной пробы – от  $0,0004$  до  $0,001 \text{ м}^2$  (при ширине щели от 4 до 10 мм);
- расположение щели пробоотсекателя – вертикальное;
- площадь сечения отводящего патрубка пробоотсекателя –  $0,0005 \text{ м}^2$ ;
- ширина опробуемого потока (переливного порога) – 600 мм;
- линейная скорость пересечения потока пробоотсекателем – от 0,1 до 0,6 м/с (регулировка через устройство управления);
- производительность потока по пульпе составляет  $1 \text{ 000 м}^3/\text{ч}$ .

Объем точечной пробы при скорости пересечения потока 0,6 м/с и ширине щели 10 мм должен составлять около  $0,0025 \text{ м}^3$  (2,5 литра). В этом случае при пересечении потока в пробоотсекатель должен зайти объем пульпы, превышающий пропускную способность отводящего патрубка в два раза. Следовательно, из 2,5 литров точечной пробы за период пересечения потока (1,0 с) через отводящий патрубок будет выведена только половина ее объема. Таким образом, на момент окончания пересечения в объеме пробоотсекателя должно быть размещено 1,25 литра отобранной пробы. При заведомо меньшем объеме пробоотсекателя (0,8 литра) часть этой точечной пробы будет потеряна. Условие одновременного отведения и накопления всего объема точечной пробы в пробоотсекателе в заданных условиях будет выполнено только при ширине щели 8 мм и менее. Снижение скорости пересечения потока пробоотсекателем также будет способствовать потере пробы за счет переполнения ножа. Скорость пересечения потока не будет влиять на потери точечной пробы только при ширине щели 5 мм и менее.

### 1.2.3. Неверное расположение пробоотсекателя относительно потока

При пересечении потока наблюдается потеря точечной пробы за счет выброса ее части из объема пробоотсекателя через нижнюю часть щели.

Причиной выброса части пробы является отражение входящего в пробоотсекатель потока пульпы от задней стенки, расположенной вертикально.

#### 1.2.4. *Неправильная конструкция пробоотсекающего элемента*

При пересечении опробуемого потока горизонтальным пробоотсекателем могут быть созданы условия, при которых твердая фаза пульпы будет накапливаться на нижней наклонной поверхности.

Накапливание пульпы внутри пробоотсекателя приводит к уменьшению его объема и повышению вероятности переполнения при пересечении потока, что ведет к потере части точечной пробы. Накапливание твердой фазы пульпы наиболее вероятно при снижении в ней доли готового класса крупности.

При пересечении опробуемого потока пробоотсекателем могут быть созданы условия, при которых часть потока пульпы не будет проходить внутрь пробоотсекателя из-за рассеивания потока на входе в пробоотсекатель через щель. Рассеивание опробуемого потока может происходить из-за формы передней кромки пробоотсекателя, образующей с боковыми стенками прямой угол. За счет этого опробуемый поток пульпы фактически пересекается плоской площадкой, в которой вырезана продольная щель. От плоской площадки происходит рассеивание (отклонение) потока в стороны, в том числе и в сторону самой щели. Чем меньше ширина щели пробоотсекателя, тем больше площадь, на которой происходит рассеивание потока. Такой эффект может создавать подпор для потока в плоскости щели (заменяемого вкладыша), что ведет к потере части точечной пробы. Эффект рассеивания потока будет увеличиваться с уменьшением ширины щели и снижаться с увеличением ширины щели.

Для отбора точечных проб с поверхности движущейся ленты конвейера применяются маятниковые пробоотборники.

Рабочим органом маятникового пробоотборника является отсекаТЕЛЬ типа «перевернутый совок», имеющий две параллельные стенки и одну перпендикулярную им заднюю стенку. При отборе пробы отсекаТЕЛЬ перемещается по радиальной траектории, пересекая ленту конвейера под прямым углом к его продольной оси. Особенностью такого пересечения является несоответствие постоянного радиуса траектории отсекаТеля и переменного радиуса профиля конвейерной ленты как на различных его участках, так и в зависимости от нагрузки на ленту. Вследствие этого средняя часть ленты снижается по высоте относительно своего исходного положения без нагрузки на величину до 60 мм. В результате при пересечении слоя опробуемого продукта отсекаТЕлем маятникового пробоотборника нижняя часть этого слоя, находящаяся в средней части ленты, в точечную пробу не попадает (рисунок 2.1).

Отбор проб медного концентрата при отгрузке потребителю выполняется способом периодического поперечного пересечения при помощи механического скреперного (скребкового) пробоотборника. Отбор точечной пробы выполняется на горизонтальном участке ленты отгрузочного конвейера путем поперечного пересечения транспортируемого слоя медного концентрата.

Условия отбора точечных проб товарного медного концентрата:

- угол пересечения слоя концентрата относительно оси конвейера –  $90^0$ ;
- скорость пересечения слоя концентрата – не более 0,5 м/с;
- скорость движения ленты конвейера – около 1,0 м/с;
- отсекатель пробоотборника выполнен в виде эластичной вертикальной пластины, закрепленной через жесткий кронштейн на подвижной ленте, которая перемещается над лентой отгрузочного конвейера в точке отбора точечных проб.

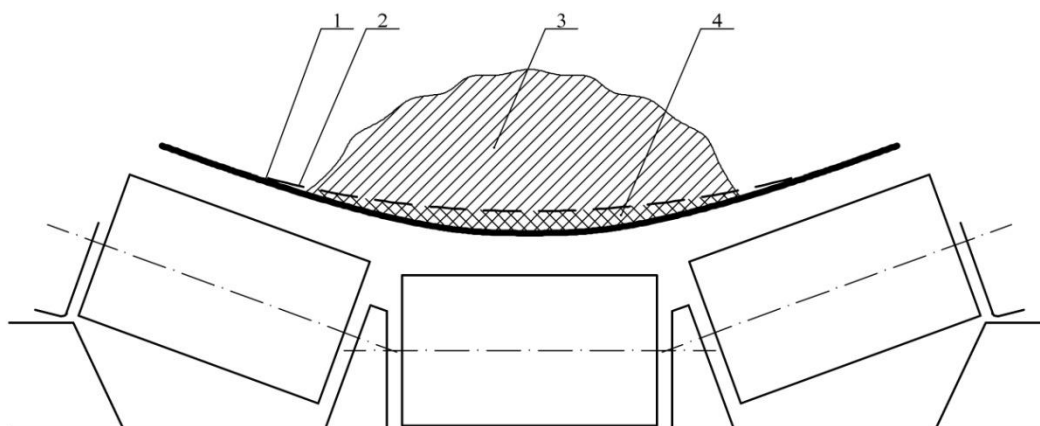


Рисунок 2.1 – Иллюстрация нарушения I принципа *правильного* отprobования при работе маятникового пробоотборника:

1 – лента конвейера; 2 – траектория движения нижней точки отсекаателя;  
3 – слой отprobуемого продукта, отбираемый в точечную пробу; 4 – участок слоя отprobуемого продукта, не попадающего в точечную пробу

При внедрении в движущийся слой отprobуемого концентрата отсекатель испытывает отклонение от своего положения и первоначальной траектории:

- смещается назад (против направления перемещения);
- смещается вбок по ходу движения ленты отгрузочного конвейера.

Смещение происходит за счет эластичности отсекаателя и эластичности самой подвижной ленты, на которой отсекатель закреплен. Конструкция отсекаателя предусматривает такое его отклонение за счет запаса по длине, который обеспечивает контакт с лентой при пересечении слоя концентрата. Тем не менее, при производительности отгрузочного конвейера, близкой к максимальной, воздействие на отсекатель высокого слоя концентрата приводит к локальному уплотнению нижней части этого слоя под движущимся отсекаателем. Возникает ситуация, когда величина силы, необходимой для сжатия уплотненного слоя, становится больше силы, способной поднять гибкий отсекатель над движущейся лентой отгрузочного конвейера. В результате уплотненная часть слоя концентрата поднимает отсекатель от поверхности движущейся ленты при пересечении слоя концентрата. В результате полного пересечения слоя концентрата на ленте отгрузочного конвейера не происходит (рисунок 2.2).

Форма и размер отсекаателя не позволяют накапливать и перемещать часть потока концентрата, которая должна быть отобрана в точечную пробу.

Это происходит за счет того, что слой концентрата на траектории пересечения сдвигается с отсекаателя за счет перемещения ленты отгрузочного конвейера. В результате в точечную пробу отбирается преимущественно боковая часть потока на конечном участке траектории пересечения перед выходом отсекаателя из слоя концентрата.



Рисунок 2.2 – Отклонение отсекаателя механического скреперного пробоотборника от исходного положения и первоначальной траектории под действием слоя материала

Отбор проб пульповых продуктов выполняется при помощи вакуумных пробоотборников. Отбор точечной пробы выполняется способом периодического продольного пересечения при помощи стационарного трубного отсекаателя, установленного в трубопроводе (рисунок 2.3).

Характерной особенностью конструкции трубного отсекаателя является отсутствие полного пересечения потока – отбор пробы выполняется через торцевой срез трубки фактически в одной точке. Для всех точек опробования с трубными отсекаателями установлено отсутствие перемешивания потока в зоне отбора точечной пробы трубным отсекаателем.

Отбор точечных проб вакуумным пробоотборником может выполняться способом периодического продольного пересечения при помощи стационарной пробоотборной трубки, размещенной в потоке (в объеме) перемещаемой пульпы (рисунок 2.4).

Характерной особенностью конструкции пробоотборной трубки вакуумного пробоотборника является неполное пересечение потока – отбор пробы выполняется через торцевой срез трубки в одной точке. Для большинства указанных точек опробования с вакуумными трубками зафиксировано отсутствие перемешивания потока в зоне отбора точечной пробы.

Деление точечных проб пульпы выполняется при помощи трубчатых отсекаателей, установленных в делительных камерах на гибких рукавах после

аккумулирующих емкостей системы доставки проб (рисунок 2.5). Делительная камера представляет собой разъемную конструкцию с внутренней цилиндрической полостью 1. В корпусе делительной камеры размещен трубчатый отсекатель 2 со срезом в поперечной плоскости внутренней полости. Регулировка объема отсекаемой для накопления пробы выполняется путем изменения открытой площади среза трубчатого отсекателя путем его перемещения в корпусе делительной камеры между крайними положениями.



Рисунок 2.3 – Трубный отсекатель вакуумного пробоотборника на трубопроводе круглого сечения



Рисунок 2.4 – Пробоотборная трубка вакуумного пробоотборника в потоке пульпы

Характерной особенностью конструкции трубчатого отсекателя является неполное пересечение потока – отбор пробы выполняется от части потока у стенки внутренней полости корпуса. В таком положении трубчатого отсекателя обеспечивается максимальная степень сокращения. Для всех точек опробования с трубчатыми отсекателями на потоках наблюдается отсутствие перемешивания потока в зоне отбора пробы для накопления.

Отбор проб пульпы может выполняться путем периодического перемещения подвижного патрубка над расположенным ниже отсекающим патрубком.

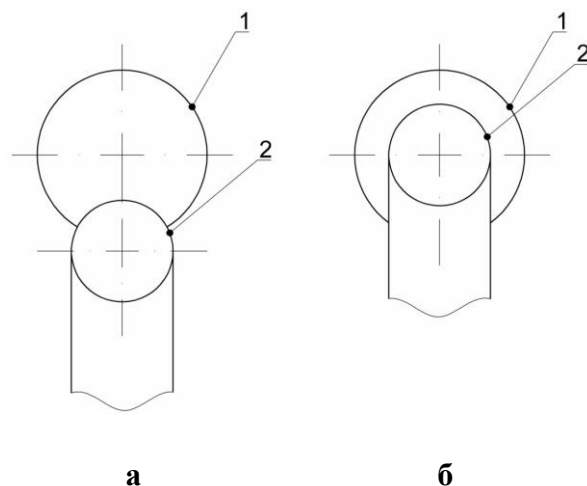


Рисунок 2.5 – Трубчатый отсекаТЕЛЬ 2 внутри делительной камеры 1:  
*а – частично открытая площадь трубчатого отсекаТеля (максимальная степень сокращения); б – максимальная открытая площадь трубчатого отсекаТеля (минимальная степень сокращения)*

Для такого отбора проб зафиксированы следующие недостатки:

- внутренние диаметры подвижного патрубка и отсекающего патрубка на большинстве сократителей потока равны между собой, что при большом напоре потока начальной пробы приводит к неполному его пересечению из-за конусообразной формы потока на выходе из подвижного патрубка;
- смещение оси подвижного патрубка относительно оси отсекающего патрубка, в результате чего часть потока начальной пробы не попадает в отсечку для рентгеновского анализатора.

#### 1.2.5. *Несоответствие скорости и траектории перемещения пробоотсекающего инструмента параметрам пересекаемого потока*

Пробоотсекатель на траектории своего перемещения не выводится из опробуемого потока, а останавливается в крайнем положении внутри опробуемого потока. При остановке пробоотсекателя в потоке будет обеспечено «заражение» точечной пробы пульпой, не входящей в объем этой точечной пробы.

При отборе точечной пробы верхняя часть опробуемого потока не пересекается щелью пробоотсекателя, в результате чего поток пересекается не полностью (рисунок 2.6). Причиной является неточная установка пробоотсекателя по высоте.

Это приводит к искажению массовой доли меди по результатам опробования: массовая доля меди составляет в среднем 0,29 % при неполном пересечении потока и снижается до 0,24 % при установке пробоотсекателя в положение, при котором поток пересекается полностью.

Для некоторых механических пробоотборников с горизонтальным и дуговым перемещением пробоотсекателя предусмотрено регулирование ширины щели этого пробоотсекателя. Диапазон регулирования составляет от 4 до 15 мм.



Рисунок 2.6 – Неполное пересечение потока пульпы пробоотсекателем (вертикальная щель меньше высоты потока)

Условия пересечения потока пульпы пробоотсекателем для точек опробования следующие:

- объем пробоотсекателя составляет  $0,0008 \text{ м}^3$  (0,8 литра);
- ширина щели пробоотсекателя – от 4 до 15 мм (изменение ширины щели выполняется путем симметричного поворота подвижных бортиков);
- длина щели пробоотсекателя – 250 мм.
- площадь щели пробоотсекателя, занятая потоком пульпы при отборе точечной пробы – от  $0,0004$  до  $0,0030 \text{ м}^2$  (в зависимости от глубины потока при ширине щели от 4 до 15 мм);
- площадь проходного сечения отводящего патрубка пробоотсекателя –  $0,0005 \text{ м}^2$ ;
- линейная скорость пересечения потока пробоотсекателем – от 0,1 до 0,6 м/с (изменение скорости выполняется через устройство управления).

В качестве примера рассмотрен процесс отбора точечной пробы от потока пульпы в одной из точек опробования:

- ширина опробуемого потока – 500 мм;
- глубина опробуемого потока – 200 мм;
- пересечение потока пробоотсекателем – полное;
- производительность потока по пульпе составляет в среднем  $250 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Объем точечной пробы при скорости пересечения потока 0,6 м/с и ширине щели 15 мм должен составлять около  $0,0017 \text{ м}^3$  (1,7 литра). В этом случае при пересечении потока в пробоотсекатель должен зайти объем пульпы, превышающий объем пробоотсекающего ножа более, чем в два раза. Площадь щели пробоотсекателя, занятая пересекаемым потоком, составляет  $0,015 \text{ м} \times 0,200 \text{ м} = 0,003 \text{ м}^2$ . При этом площадь сечения отводящего патрубка, по которому точечная проба выводится из пробоотсекателя в процессе пересечения потока, равна  $0,0005 \text{ м}^2$ . Следовательно, из 1,7 литра точечной пробы за период пересечения потока (0,8 с) через отводящий патрубок будет выведена только одна шестая ее объема, составляющая 0,3 литра. Таким образом, на момент окончания пересечения в объеме пробоотсекателя должно быть размещено 1,4 литра

отобранной пробы. При заведомо меньшем объеме пробоотсекателя (0,8 литра) часть этой точечной пробы будет потеряна. Условие одновременного отведения и накопления всего объема точечной пробы в пробоотсекателе в заданных условиях будет выполнено только при ширине щели 8 мм и менее.

Снижение скорости пересечения потока пробоотсекателем также будет способствовать потере пробы за счет его переполнения. Скорость пересечения потока в существующем диапазоне ее регулирования не будет влиять на потери точечной пробы только при ширине щели 2,5 мм и менее. Такая ширина щели будет нарушением технологии опробования и ГОСТ 14180-80 [15]. При указанной ширине щели скорость перемещения пробоотсекателя могла бы составлять 0,1 м/с. При минимальной ширине щели пробоотсекателя в 4 мм для рассматриваемых условий отбора точечной пробы скорость пересечения потока должна составлять не менее 0,2 м/с. Помимо ограничения по величине, скорость пересечения потока должна быть постоянной.

Для пробоотборников типа «ПРО» зафиксировано неравномерное движение пробоотсекателя с участком торможения до полной остановки и последующим набором скорости. Продолжительность полной остановки пробоотсекателя – до двух секунд. Точка остановки пробоотсекателя – нижняя часть пересекаемого потока. Неравномерный по скорости режим пересечения потока носит систематический характер. Результатом неравномерного движения пробоотсекателя будет отбор в точечную пробу большего, по сравнению с необходимым, количества потока от его нижней части.

Превышение линейной скорости пересечения потока зафиксировано для секторного сократителя в составе автоматической линии пробоподготовки в точке опробования мелкодробленной руды. Частота вращения отсекающего сектора составляет  $60 \text{ мин}^{-1}$  при радиусе его вращения 0,25 м. Линейная скорость пересечения потока мелкодробленной объединенной пробы отсекающим секторным сократителем составляет 1,5 м/с. Это почти в три раза превышает максимальную допустимую скорость пересечения потока в 0,6 м/с [3, 6, 145].

#### 1.2.6. Искусственное регулирование объема (массы) пробы

При отборе точечной пробы ручным пробником объем пробы регулируется путем принудительного доведения объема пробы до одного литра с удалением остатков пробы из кружки или неполным выливанием пробы в мерную кружку из пробника.

Аналогичное регулирование массы пробы может применяться для сыпучих продуктов различной крупности. Нарушение происходит по причине избирательного подхода к отбору части потока в точечную пробу – требуемая масса может быть представлена как несколькими крупными кусками, так и большим количеством относительно мелких кусков. При изменении производительности потока (массы слоя на ленте конвейера), точечные пробы будут отбираться на участках разной площади и по разной длине траектории, когда полное поперечное пересечение слоя опробуемого продукта может быть не завершено, а необходимая масса точечной пробы будет уже набрана.

При отборе точечных проб исходной руды крупные куски руды могут быть



сознательно исключены из отбираемой точечной пробы (рисунок 2.7) по причине невозможности их механизированного дробления на первой стадии пробоподготовки.



Рисунок 2.7 – Крупные куски исходного сырья на ленте конвейера в зоне отбора первичных точечных проб (в слое материала на ленте присутствуют куски более 300 мм)

#### 1.2.7. Изменение влажности продукта в точке отбора пробы

Опробование продукции как при отгрузке с товарного склада, так и при приемке на предприятии-потребителе показало изменчивость влажности опробуемого продукта. Так, например, для хромовой руды диапазон изменения влажности за год составил от 0,05 до 7,13 % при норме не более 4 %. Превышение нормы влажности зафиксировано более, чем для 8 % проб. Массовая доля оксида хрома для хромовой руды находится в пределах 50 – 53 %. При этом корреляция между влажностью и массовой долей оксида хрома отсутствует. Различие по влажности между двумя соседними пробами, отобранными в течение одних суток, может составлять до 10 раз. В качестве примера можно привести две соседние пробы с влажностью 3,02 и 0,39 % при массовой доле оксида хрома в них 50,11 и 50,19 % соответственно.

Как правило, стандартом на определение влажности декларируется только погрешность метода измерения влажности, но не погрешность результата опробования [3, 6, 7, 50]. Известно, что влажность продукта в точке опробования может отличаться от средней влажности за счет испарения или миграции воды как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения влажности. Поэтому в стандартах указано, что отбирать пробу следует непосредственно до или после взвешивания [14, 15, 16, 17, 18, 19]. Тем не менее, такое указание не исключает изменений пробы по влажности в точке ее отбора. Так, например, если взвешен автосамосвал с рудой, то после разгрузки автосамосвала проба на ленточном конвейере может быть отобрана как от верхней части объема руды, перевозимой

на платформе автосамосвала, так и от нижней части объема руды. Влажность этих частей руды может значительно отличаться. Влажность руды в разных автосамосвалах также может быть различной. В итоге условия опробования на влажность будут приводить к систематической погрешности.

### 1.3. Нарушения при подготовке проб

#### 1.3.1. *Перемешивание пробы методом перекачивания*

Метод перекачивания позволяет выполнить усреднение за относительно короткое время, но при этом обладает существенным недостатком: при наличии в перемешиваемом продукте различных по крупности и плотности частиц перекачивание может способствовать их разделению внутри перемешиваемого объема как по крупности, так и по плотности [3, 6]. Такой эффект может привести к дополнительной сегрегации перемешиваемого продукта [3, 62, 129].

Выполнены эксперименты по перемешиванию искусственных смесей в барабане лабораторной шаровой мельницы, методами перекачивания и «кольца и конуса» [3, 147]. Показано, что при перемешивании материала с различной плотностью и крупностью составляющих его компонентов возможно возникновение обратного эффекта, когда степень неоднородности материала после перемешивания увеличивается за счет сегрегации материала. Тогда коэффициент неоднородности перемешиваемого материала принимает значение более единицы:

- при механическом перемешивании пробы во вращающемся барабане лабораторной мельницы коэффициент неоднородности составил (0,70), (1,03) и (1,17) при продолжительности перемешивания 60 с, 180 с и 360 с соответственно;

- при усреднении материала методом перекачивания через три цикла коэффициент неоднородности составил (0,92), через девять циклов – (1,34), через 18 циклов – (1,28);

- при усреднении материала методом «кольца и конуса» через один цикл коэффициент неоднородности составил (0,83), через три цикла – (0,90), через шесть циклов – (0,81).

Заметно, что эффект повышения однородности перемешиваемой пробы в первых двух случаях был достигнут только в самом начале процесса усреднения. Указанные способы усреднения материала имеют общую отличительную характеристику – каждый из методов предполагает перемешивание материала в объеме, когда любой фрагмент пробы или проба целиком имеет сопоставимые линейные размеры во всех трех измерениях.

#### 1.3.2. *Формирование пробы методом квадратования*

Метод имеет существенные недостатки [6, 43, 146]: разравнивание пробы в относительно тонкий слой может привести к ее сегрегации, а при отборе микропорции совком в сокращенную пробу попадут частицы преимущественно из верхнего слоя пробы (для метода отмечено неравномерное извлечение слоя материала по его толщине).

Сегрегация пробы может увеличиваться, когда сокращение методом квадратования выполняется после перемешивания пробы методом перекачивания [3, 145, 147].

### 1.3.3. Неполное измельчение пробы

В пробе могут присутствовать спрессованные агрегаты и недостаточно измельченные частицы. При выполнении операции контрольного просеивания пробы через сито спрессованные агрегаты в большинстве случаев разрушаются, а частицы крупнее размера отверстия сита должны измельчаться до полного прохождения через сито. По статистике, весь материал пробы проходит через контрольное сито в 90 – 95 % случаев [3, 147]. В оставшихся исключительных случаях остаток на сите подвергается дополнительному измельчению до крупности минус 0,08 мм. Наличие остатка на контрольном сите не допускается.

Указанное требование по части полного просеивания пробы через контрольное сито нередко сопровождается упрощением, позволяющим доводить остаток на сите до 2 – 3 % от массы просеиваемой пробы и либо присоединять его к просеянной пробе, либо удалять из пробы. Отдельный анализ остатка на сите не выполняется. В результате происходит либо потеря части пробы, либо нахождение этой части пробы в крупности, непригодной для выполнения анализа, что фактически также является удалением части пробы.

2. Несоответствие процесса отбора и подготовки проб второму принципу правильного опробования [6]:

#### 2.1. Неравномерное распределение точечных проб по опробуемому массиву

Отбор точечных проб мелкодробленой руды выполняется при помощи совка с остановленной ленты конвейера. В точечную пробу полностью извлекается слой руды по всей ширине ленты длиной в один метр (по длине ленты). Так как мелкодробленая руда транспортируется двумя параллельными ленточными конвейерами, отбор точечных проб выполняется с каждого из конвейеров поочередно. За смену продолжительностью 12 часов от мелкодробленой руды должно быть отобрано две точечные пробы (с каждого конвейера), результаты анализа которых за смену не объединяются. Интервал времени между отбором точечных проб не является постоянным и составляет от 1 до 11 часов. Это означает, что точечные пробы, отобранные в 11-м часу первой смены и в 1-м часу второй смены, являются отобранными только от 1/6 всей массы руды, перемещенной через точку опробования за две смены (24 часа) – результаты опробования будут распространены только на четыре часа работы обогатительной фабрики (рисунок 2.8). Таким образом, назначенный и фактический контрольный периоды опробования исходной руды отличаются друг от друга в шесть раз.

Неравномерное распределение точечных проб руды по опробуемому массиву указывает на очевидное сгущение точек отбора во времени.

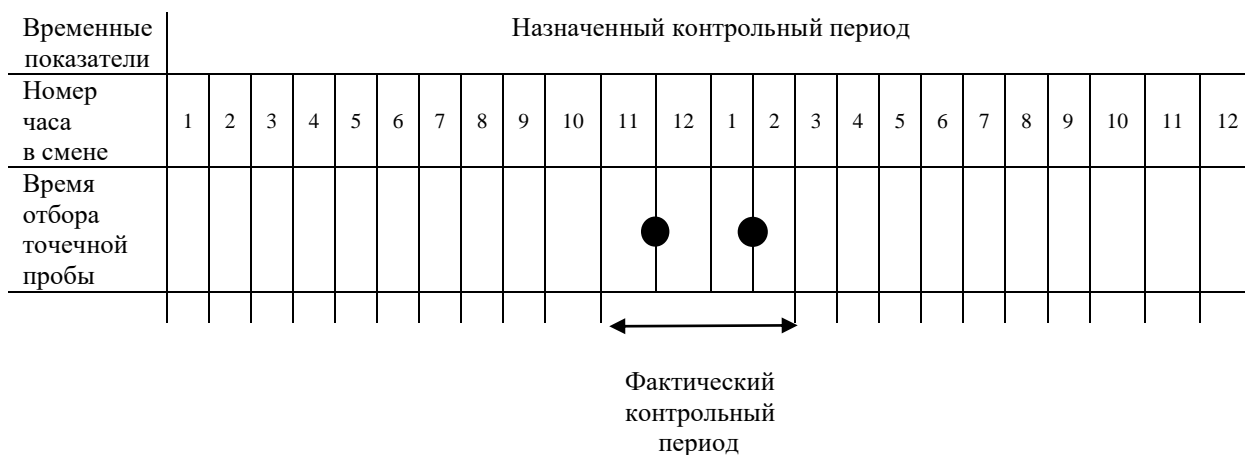


Рисунок 2.8 – Соотношение назначенного и фактического контрольного периодов опробования исходной руды

Отбор точечных проб отфильтрованных концентратов выполняется после их выгрузки из фильтр-прессов на ленточные конвейеры, подающие отфильтрованные концентраты в отсеки склада. Отбор точечных проб выполняется вручную с движущейся ленты конвейера при помощи совка. За цикл работы фильтр-пресса от массы выгруженного отфильтрованного концентрата (кека) отбираются по несколько точечных проб в начале, середине и конце цикла разгрузки. Производительность конвейера в процессе выгрузки на него отфильтрованных концентратов не является постоянной и изменяется от нулевого значения до максимального. Это приводит к тому, что в процессе выгрузки за единицу времени по ленте конвейеров перемещаются различные массы отфильтрованного концентрата. Массу отфильтрованного концентрата, находящуюся на ленте конвейера, целесообразно оценивать в относительной высоте слоя, а также по наличию на ленте свободной влаги:

- пустая лента;
- низкий «сухой» слой;
- низкий «влажный» слой;
- высокий «сухой» слой;
- высокий «влажный» слой.

В таблице 2.2 показано распределение массы отфильтрованного медного концентрата, выгруженного за один цикл работы из фильтр-пресса.

Решение на отбор точечной пробы принимается контролером службы технического контроля. Точечные пробы отбираются преимущественно от высокого слоя «сухого» отфильтрованного концентрата. Отбор точечных проб выполняется менее, чем от половины массы. Так как процесс выгрузки отфильтрованного концентрата не является стабильным по производительности, высокий «сухой» слой на ленте конвейера не распределяется равномерно, чтобы возможно было отобрать точечные пробы в начале, середине и конце цикла разгрузки фильтр-пресса.

Таблица 2.2 – Распределение массы выгружаемого за один цикл работы фильтр-пресса отфильтрованного медного концентрата по ленте конвейера

Высота слоя концентрата на ленте	Доля массы выгружаемого концентрата, %
Пустая лента	10
Низкий «сухой» слой	18
Низкий «влажный» слой	23
Высокий «сухой» слой	44
Высокий «влажный» слой	5
Итого:	100

## 2.2. Отбор пробы фиксированной массы от потока с изменяющейся производительностью

Точечная проба одной и той же массы может быть отобрана от потока при различной его производительности, что приведет к искажению объединенной пробы по представительности массы отдельных элементов опробованного массива.

Несоответствие опробования принципам правильного опробования может быть устранено путем выполнения технических и технологических мероприятий.

Обобщенные причины появления систематических погрешностей опробования продуктов обогащения приведены ниже:

### 1. Автоматический пробоотборник пересечного типа с прямолинейным перемещением отсекаателя:

1.1. Несоответствие длины отсекающей щели глубине (толщине) опробуемого потока – длина отсекающей щели менее 1,3 величины глубины пересекаемого потока.

1.2. Несоответствие профиля отсекающей щели установленным требованиям – ширина щели не может изменяться на величину более 1,3 раза на всем ее протяжении.

1.3. Несоответствие площади отсекающей щели площади проходного сечения отводящего патрубка – площадь отсекающей щели не должна превышать площадь проходного сечения отводящего патрубка более, чем в 1,5 раза.

1.4. Превышение скорости пересечения опробуемого потока отсекаателем – скорость пересечения не должна превышать 0,6 м/с.

1.5. Изменение скорости пересечения опробуемого потока – ускорение и замедление отсекаателя на траектории пересечения потока (вплоть до полной остановки).

### 2. Автоматический пробоотборник пересечного типа с круговым перемещением отсекаателя (секторный пробоотборник):

2.1. Несоответствие длины отсекающей щели глубине (толщине) опробуемого потока – длина отсекающей щели менее 1,3 величины глубины пересекаемого потока.

2.2. Несоответствие профиля отсекающей щели установленным требованиям – ширина щели не может отклоняться от расчетного значения на величину более 1,3 раза в каждой из точек на всем ее протяжении.

2.3. Несоответствие площади отсекающей щели площади проходного сечения отводящего патрубка – площадь отсекающей щели не должна превышать площадь проходного сечения отводящего патрубка более, чем в 1,5 раза.

2.4. Превышение тангенциальной (линейной по касательной к траектории) скорости пересечения опробуемого потока отсекателем – тангенциальная скорость пересечения не должна превышать 0,6 м/с.

2.5. Изменение тангенциальной скорости пересечения опробуемого потока – ускорение и замедление отсекаателя на траектории пересечения потока (вплоть до полной остановки).

2.6. Неправильная форма отсекающей щели. Края отсекающей щели должны образовывать сектор с углом между краями при оси вращения.

### 3. Вакуумный пробоотборник:

3.1. Отсутствие перемешивания опробуемого потока в зоне отбора точечной пробы трубным отсекателем.

3.2. Изменение уровня опробуемого потока в зоне отбора точечной пробы трубным отсекателем.

### 4. Желонка:

Нарушение герметичности крышки – захват в пробу пульпы из вышележащих слоев объема сгустителя.

### 5. Ручной щуп:

5.1. Несоответствие длины рабочей поверхности щупа высоте слоя опробуемого продукта.

5.2. Потеря части взятой в щуп пробы при его извлечении из слоя опробуемого продукта.

5.3. Неполное погружение щупа в слой опробуемого продукта.

### 6. Ручной пробник:

6.1. Несоответствие длины отсекающей щели глубине (толщине) опробуемого потока – длина отсекающей щели менее 1,3 величины глубины пересекаемого потока.

6.2. Несоответствие профиля отсекающей щели установленным требованиям – ширина щели не может изменяться на величину более 1,3 раза на всем ее протяжении.

6.3. Несоответствие объема ручного пробника производительности опробуемого потока – при пересечении потока со скоростью не более 0,6 м/с пробник заполняется пульпой до его вывода из потока.

6.4. Отсутствие возможности полного вывода ручного пробника из опробуемого потока – отсутствует возможность вывода пробника в сторону от потока до начала его пересечения и после пересечения.

## 7. Совок:

7.1. Несоответствие ширины совка крупности опробуемого продукта – ширина совка менее трехкратного максимального размера куска опробуемого продукта.

7.2. Потеря части взятой в совок пробы при его извлечении из слоя опробуемого продукта.

## 2.3. Систематические погрешности определения массы и влажности

### 2.3.1. Связь случайных и систематических погрешностей определения сухой массы продуктов обогащения

К условиям взвешивания продуктов обогащения относятся такие основные факторы, как влияние массы тары (конвейерной ленты), влияние условий загрузки (подачи) и выгрузки взвешиваемого продукта. Под массой тары понимается как масса транспортной емкости для неподвижных продуктов (вагон, думпкар, автосамосвал), так и масса конвейерной ленты для перемещаемых продуктов [6, 42, 148].

Систематические погрешности взвешивания должны быть исключены за счет плановых поверок весов.

Погрешности взвешивания, возникающие по причинам, связанным с условиями взвешивания, переводятся в разряд случайных за счет калибровки весов. Систематические погрешности результатов не прямых (косвенных) взвешиваний (массы в штабелях, бункерах и сгустителях) должны быть исключены из расчетов на этапе составления методик их выполнения.

По сравнению с систематической погрешностью результатов взвешивания, систематические погрешности определения влажности продукта исключить сложнее [3, 6, 145, 148].

Методикой определения влажности декларируется только погрешность метода измерения влажности, но не погрешность результата опробования. Известно, что влажность материала в точке опробования может отличаться от средней влажности за счет испарения или миграции воды как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения влажности. Поэтому в методиках отбора проб на влажность всегда указывается, что отбирать пробу следует непосредственно до или после взвешивания [3, 14, 15, 18, 19, 149, 150]. Тем не менее, такое указание не исключает изменений пробы по влажности в точке ее отбора. Так, например, если взвешен самосвал с рудой, то проба на конвейере после разгрузки автосамосвала может быть отобрана как от верхней части объема руды, перевозимой на платформе автосамосвала, так и от нижней части объема руды, но влажность этих частей руды может значительно отличаться. Влажность руды в разных автосамосвалах также может быть различной. В итоге условия опробования на влажность будут приводить к систематической погрешности, которую рекомендуется установить в виде количественной величины.

Это возможно в общем случае, так как устанавливается наличие исключительно систематических погрешностей, когда при наличии повторного (двойного) опробования разность величины влажности двух проб

$$\Delta W_{\text{сист}} = W_{\text{загр}} - W_{\text{разгр}}$$

может быть принята к расчету. Подобная ситуация происходит, например, при загрузке партии продукта в тару (вагоны, автосамосвалы и т. п.) и ее разгрузке из тары. Указанная разность может быть принята к расчету при определении влажности. Полученное значение  $\Delta W_{\text{сист}}$  может быть учтено в расчетах в виде поправочного коэффициента.

Составляющая погрешности определения влажности, соответствующая погрешности метода анализа, учитывается в расчетах, как случайная.

Систематические погрешности определения массовых долей должны быть исключены на уровне составления методик (инструкций) опробования и их выполнения.

Случайные погрешности определяются для конечного числа (набора) измерений. Если измерения проводятся на конечном интервале времени, то возможны новые варианты расчета погрешностей. Пояснение по таким вариантам приведено ниже.

В таблице 2.3 приведены формулы для расчета погрешностей на коротком (смена) и на длинном (месяц) контрольных периодах.

Таблица 2.3 – Формулы для расчета погрешностей на коротком (смена) и на длинном (месяц) контрольных периодах

Измеряемая величина	Контрольный период короткий (смена, сутки)	Контрольный период длинный (месяц)
Масса $M$ : прямое взвешивание	$\Delta M = \pm \frac{P_M \cdot M}{100}$	$P_M$
косвенное взвешивание	$\Delta M = \pm t S_M = \pm t \cdot \sqrt{S_p^2 + S_v^2}$	$P_M^2 = P_p^2 + P_v^2$
Масса ценного компонента $K = M(1-W) \cdot \alpha$	$\Delta K = \pm \Delta M \cdot (1-W) \cdot \alpha \pm$ $\pm \Delta W \cdot M \cdot \alpha \pm \Delta \alpha \cdot M(1-W)$ $P_K = \frac{\Delta K}{K} \cdot 100$ $+ (-)\Delta K_W = M \cdot \alpha \cdot \Delta W_{\text{сист}}$ $+ (-)\Delta K_{\text{всп}} = M(1-W) \cdot \Delta \alpha_{\text{всп}}$	$P_K^2 = P_M^2 + \left(\frac{W}{1-W}\right)^2 P_{W\partial}^2 + P_{\alpha\partial}^2$ $+ (-)\Delta K_W = M \cdot \alpha \cdot \Delta W_{\text{сист}}$ $+ (-)\Delta K_{\text{всп}} = M \cdot (1-W) \cdot \Delta \alpha_{\text{всп}}$

Пусть  $T_M$  – условно длинный контрольный период, а  $T_C$  – условно короткий контрольный период (месяц и смена соответственно). При этом выполняется условие  $T_M = N_T \cdot T_C$ . Если погрешность не меняет свою величину и знак как на интервале  $T_M$ , так и на интервалах  $T_C$ , такая погрешность является



систематической погрешностью. Если погрешность на коротком интервале  $T_c$  не изменяет свой знак, хотя при этом может изменить свою величину, то она должна рассматриваться, как систематическая. При этом на длинном интервале  $T_m$  погрешность меняет свои величину и знак, приобретая признаки случайной погрешности.

Принципиальным отличием систематических погрешностей от случайных является то, что систематические погрешности суммируются в первой степени, а случайные погрешности – во второй. К таким погрешностям следует отнести погрешность взвешивания на весах и погрешность опробования на влажность.

Указанные особенности необходимо учитывать при расчете погрешностей определения массы и влажности продуктов обогащения.

### **2.3.2. Особенности расчета случайных погрешностей схем пробоподготовки с накоплением промежуточной пробы**

Накопление точечных проб в технологической схеме пробоподготовки является необходимой операцией в следующих случаях:

1. Необходимость выполнения требований стандартов, предписывающих сокращение начальной (первичной) пробы, сформированной из точечных проб, однократно единым объемом за смену или иной контрольный период.

2. Необходимость формирования промежуточной накопленной сменной пробы для попутного определения требуемых технологических показателей. Так, например, накопление пробы за четыре часа может быть необходимо для определения гранулометрического состава исходной мелкодробленой руды на обогатительной фабрике.

3. Необходимость формирования промежуточной накопленной пробы за короткий контрольный период (один-два часа) для ее анализа. В этом случае результат опробования за смену определяется как накопленный показатель, обусловленный числом составляющих его результатов. В этом случае случайная погрешность опробования за смену будет рассчитываться с учетом ее уменьшения на квадратный корень из числа результатов за смену.

4. Отсутствие возможности выполнить многократное и, в то же время, представительное сокращение отдельных точечных проб. Примером может являться недостаточность массы отдельной точечной пробы для ее представительного сокращения на имеющемся сократителе. Также сокращение отдельных точечных проб вручную будет связано с высокими трудозатратами: сокращение вручную одной объединенной пробы мелкодробленой руды массой 300 кг до сокращенной пробы массой 9 – 10 килограммов на желобчатом делителе занимает столько же времени, сколько сокращение пяти точечных проб массой 6 – 7 килограммов.

При отсутствии перечисленных обстоятельств необходимость промежуточного накопления пробы для ее дальнейшего сокращения не имеет смысла по причине равенства случайной погрешности сокращения единой

объединенной пробы до требуемой конечной пробы и последовательного сокращения всех точечных проб до той же требуемой конечной пробы.

### 2.3.3. Потери массы продуктов обогащения

Попытка оценить и нормировать потери массы продуктов обогащения приводит к необходимости разделения потерь по контролируемому (теряемому) объекту:

- потери сырой массы продукта обогащения;
- потери сухой массы продукта обогащения и потери массы ценного компонента в продукте обогащения.

Важной характеристикой всех перечисленных выше видов технологических и организационно-технических потерь является их возникновение в результате выполнения той или иной технологической операции: добыча, рудоподготовка, обогащение, перегрузка, транспортировка. Такие потери могут быть установлены, спрогнозированы и нормированы.

Иначе складывается ситуация с процессом хранения продуктов обогащения на складах. В этом случае не должно происходить потерь сухой массы продукта обогащения и массы ценного компонента в продукте обогащения, тогда как потери сырой массы продукта обогащения происходить будут.

По этой причине какой-либо естественной убыли сухих масс продуктов на складах происходить не может, так как в условиях ограниченного времени хранения любой из продуктов на складе не подвержен изменениям по составу твердого [3, 145, 150].

Преимущественно, указанное относится к концентратам обогатительных фабрик. Кажущаяся убыль масс концентратов на складах возможна в связи с вероятными изменениями влажности и погрешностями определения накопленных масс как с помощью весов, так и путем косвенного взвешивания.

Измерение влажности и насыпной плотности неподвижных масс всегда связано со случайными и систематическими погрешностями [6, 145, 148, 150]:

- нормы относительных случайных погрешностей для измерения влажности составляют от 7 до 15 %;
- норма относительных случайных погрешностей для определения насыпной плотности составит около 5 %;
- нормы относительных случайных погрешностей для определения объемов при маркшейдерских замерах с помощью тахеометров могут изменяться в диапазоне от 3 до 5 %.

Для определения случайных погрешностей возможно использовать формулу косвенного определения массы

$$M = V \cdot \rho_{\text{нас}} (1 - W)$$

где  $V$  – объем материала на складе;  $\rho$  – насыпная плотность;  $W$  – влажность.

Относительная погрешность определения массы концентрата на складе составит

$$P_M^2 = P_V^2 + P_{\rho_{\text{нас}}}^2 + \left(\frac{W}{1-W}\right)^2 \cdot P_W^2 = 3^2 + 5^2 + \left(\frac{0,1}{1-0,1}\right)^2 \cdot 10^2 = 35,1 \%^2;$$

$$P_M = 5,9 \%$$

Следовательно, косвенное взвешивание продуктов обогащения сопровождается относительной случайной погрешностью до 5,9 %. Тем не менее, данный вариант взвешивания является более надежным, чем определение массы по разности показаний конвейерных весов.

При определении насыпной плотности возможна систематическая погрешность в связи с изменением насыпной плотности по высоте и в целом при сравнительно длительном хранении концентратов.

При определении влажности возможна систематическая погрешность вследствие высыхания хранимого на складе концентрата, дренажа свободной влаги и добавления влаги со стороны вследствие воздействия природных осадков.

Для исключения указанных систематических погрешностей следует разрабатывать (совершенствовать) методическую часть процесса отбора проб на влажность и насыпную плотность.

При поставке готовой продукции в адрес потребителя железнодорожным или автомобильным транспортом навалом перевалка (перегрузка) происходит в двух точках маршрута транспортировки: загрузка со складов и выгрузка на склад потребителя.

Если допустить, что механические потери продуктов при перевалке исключены (просыпание, остатки на полу или стенках, остатки в полостях тары и т. п.), то потери массы этих продуктов связаны только с изменением влажности: испарением влаги и ее дренированием.

На одном из горно-обогачительных комбинатов установлено, что влажность хромовых концентратов крупностью минус 3 мм может находиться в диапазоне от 10 до 20 %. Сыпучие продукты с указанной влажностью при перевалках могут уменьшать эту влажность на несколько процентов [3, 145, 150]. Это во многом зависит от способа и условий перевалки:

- вида и устройства механизированного инструмента;
- дискретности (порционности) процесса перевалки;
- продолжительности перевалки;
- времени года и погодных условий.

Для относительно влажных продуктов характерно изменение влажности в сторону ее снижения, а для сухих продуктов – в сторону увеличения. При этом сухие массы продуктов и массы ценного компонента остаются постоянными.

При перевалке готовой продукции могут присутствовать также и механические потери сухой массы (массы ценного компонента), но в существующих условиях организации работы складов такие потери выявить весьма затруднительно. Причиной этому является отсутствие взвешивания

отдельных единиц массы (штабелей, куч) при поступлении на склад и взвешивание только отгружаемой готовой продукции после ее загрузки в вагоны или автомобили.

Потеря массы готовой продукции при ее транспортировке, в отличие от перевалки, возможна минимум по двум причинам:

- по причине испарения влаги и дренирования влаги (как при перевалке);
- по причине механических потерь продукта.

Так, готовая продукция одного из горно-обогатительных предприятий перевозится потребителю по железной дороге при помощи четырехосных открытых грузовых вагонов (полувагонов). Грузовые вагоны загружаются навалом, в процессе транспортировки масса загруженного в вагон продукта остается открытой сверху. По этой причине при транспортировке готовой продукции возможно и увеличение ее массы за счет природных осадков.

Механические потери готовой продукции при транспортировке возможны за счет просыпания и выдувания мелких частиц с поверхности перевозимой массы ветром и встречным потоком воздуха. Если ветер на маршруте транспортировки присутствует периодически, то встречный поток воздуха сопровождает движущийся вагон постоянно. Действие встречного потока воздуха нельзя недооценивать. При неподвижной атмосфере в зоне перемещения железнодорожного состава скорость встречного потока воздуха может составлять существенную величину [151]:

- при скорости состава 30 км/ч – 8,3 м/с (давление 5 кг/м<sup>2</sup>);
- при скорости состава 50 км/ч – 13,9 м/с (давление 17 кг/м<sup>2</sup>);
- при скорости состава 70 км/ч – 19,4 м/с (давление 26 кг/м<sup>2</sup>).

При отсыпании конуса железорудного концентрата крупностью минус 40 мм с содержанием класса минус 3 мм не более 12 % в ветреную погоду за габариты конуса может быть вынесено до 0,5 % общей массы концентрата. Такие потери массы концентрата однозначно относятся к механическим потерям, но рабочей документацией системы контроля качества обогатительной фабрики они не учтены и не нормированы. Особенно актуальными такие механические потери будут для продуктов крупностью менее 3 мм: с поверхности объема загруженного в вагон концентрата испарение влаги происходит достаточно интенсивно при соответствующих погодных условиях, также происходит дренирование влаги (более интенсивное, чем при простом хранении на складе), а высыхающий поверхностный слой подвергается выдуванию. Для концентратов выдуванию подвергается практически весь верхний слой, в котором снизилась влажность.

Просыпание товарной продукции (механические потери) при транспортировке возможны по двум основным причинам:

- наличие щелей и отверстий на стыках элементов конструкции грузовых вагонов, особенно по периметру люков (для люковых полувагонов);
- перфорация бортов и днища вагонов.

Отдельным видом механических потерь может быть частичная (не полная) выгрузка товарной продукции из вагонов вследствие налипания и примерзания к

внутренним поверхностям бортов и днища. Такой вид механических потерь характерен для влажных концентратов в холодное время года.

#### **2.3.4. Совместное действие систематических и случайных погрешностей на коротком и продолжительном контрольном периоде**

Погрешность складывается из систематических погрешностей определения массы (взвешивания), влажности и массовой доли меди.

Систематические погрешности взвешивания (на примере поставок товарного медного концентрата):

Товарные (коммерческие) железнодорожные весы проходят процедуру калибровки и поверки [3, 6, 145, 148, 152]. Калибровка весов проводится не реже, чем один раз в месяц. Результатом калибровки является заключение, что весы работают в пределах допуска (запись в паспорте весов, отдельный акт или протокол). У допуска, в пределах которого работают весы, есть свой знак и величина. Они по результатам калибровки не учтены.

Опыт поверки (калибровки) весов на обогатительных фабриках [3, 145, 152] показал, что возможные отклонения чаще всего составляют величину от  $\pm 0,05$  до  $0,20$  %. При этом в паспортах товарных железнодорожных весов указана абсолютная погрешность взвешивания, для масс в 50 и 100 тонн составляющая  $\pm 50$  и  $100$  килограммов соответственно: предел допустимой погрешности при текущей эксплуатации весов в диапазоне от  $500e$  до  $2000e$  составляет  $50$  кг, и для значений массы более  $2000e$  –  $100$  кг.

В относительных единицах указанные массы составят  $\pm 0,05$  %.

В приведенном примере на указанных весах выполняется взвешивание товарного медного концентрата (ТМК), выпускаемого обогатительной фабрикой.

На основании указанных расчетов допустимо предположить, что товарные весы как на обогатительной фабрике, так и у потребителей ТМК завышают (или занижают) определяемую массу на  $0,05$  % (тип и класс точности товарных весов сопоставимый). При несовпадении знаков разность составит  $0,1$  %.

Систематические погрешности определения влаги:

Определение влажности ТМК выполняется на обогатительной фабрике после загрузки в полувагоны, у потребителей ТМК – при выгрузке из полувагонов.

Исходя из практики поставок ТМК, предельное значение расхождения массы нетто груза поставляемой партии ТМК между обогатительной фабрикой и потребителем, согласно типовым условиям поставки, не должно превышать  $\pm 1,0$  %. По этой причине в ряде случаев расхождение массы поставляемой партии может быть обусловлено только погрешностью определения влажности.

Известны результаты экспериментов по опробованию на влажность одного и того же концентрата в количестве восьми партий путем отбора точечных проб в различных условиях [6, 7, 148]:

- у поставщика на конвейере при загрузке концентрата в контейнеры;

- у потребителя из лунок в массе концентрата в контейнерах;
- у потребителя из отсыпанных куч сразу после выгрузки концентрата из контейнеров.

Разные условия отбора проб показали разные результаты определения влажности:

- при отборе с конвейера влажность концентрата составила от 9,0 до 11,5 %;
- при отборе из контейнера – от 10,5 до 13,3 %;
- при отборе из куч – от 8,9 до 10,5 %.

Если принять за опорное значение результаты определения влажности у поставщика, то у потребителя влажность концентрата в контейнерах окажется завышенной, а в кучах – заниженной. Разность величины влажности составляет более 1 %.

Сделан вывод, что погрешность определения влаги в концентрате может сказаться на учете его сухой массы в большей степени, чем погрешность взвешивания.

Условия изменения влажности концентратов в полувагонах и контейнерах существенно отличаются, поэтому к расчету принята средняя систематическая разность определения влажности ТМК между обогатительной фабрикой и предприятиями-потребителями ТМК, составляющая не более 0,3 %. При несовпадении знаков отклонений разность по влажности ТМК может составить 0,6 %.

Результаты определения погрешностей для партий концентрата подтверждают результаты проведенных ранее экспериментов о преобладающем влиянии относительно небольших систематических погрешностей над случайными при оценке результатов поставки большого количества партий. Причина такого соотношения погрешностей обусловлена причинами их возникновения и закономерностями изменения: с увеличением числа событий случайная погрешность уменьшается, а систематическая погрешность сохраняется неизменной.

## **2.4. Экспериментальная оценка систематических погрешностей**

### **2.4.1. Экспериментальное доказательство отсутствия или наличия систематической погрешности**

Принципы правильного опробования сложно сформулировать в виде конкретных требований к технологии опробования и оборудованию для отбора и подготовки проб, о чем свидетельствуют их многочисленные и системные нарушения. Наличие или отсутствие причин появления систематической погрешности на практике может быть установлено как теоретическим расчетом, так и прямым экспериментом.

Показаны результаты проверки правильности работы механического пробоотбирателя на одной из сальвинитовых обогатительных фабрик [6, 50].

Принятым опорным значением является результат ручного опробования. Проверка проведена на потоке концентрата хлористого калия одновременным отбором проб механическим пробоотбирателем и ручным пробником. Отбор проб проводился при загрузке одного вагона с формированием объединенных проб. Опробовано 20 вагонов. В таблице 2.4 приведены полученные результаты опробования. Расчетный критерий Стьюдента, определенный по формуле

$$t_p = |\bar{\Delta}| \cdot \frac{\sqrt{20}}{S_{\Delta}},$$

составляет  $t_p = 1,05$ . Полученное значение по величине оказалось меньше табличного  $t_T = 2,09$ . Это свидетельствует об отсутствии систематической погрешности механизированного отбора проб при условии, что за опорное значение принят результат ручного отбора.

Технология опробования включает в себя большое число операций, и принцип непредпочтительности следует соблюдать при отборе кусков в пробу на любом из этапов опробования – как при самом отборе пробы, так и при ее подготовке, а также при отборе навески для анализа.

Таблица 2.4 – Результаты определения систематической погрешности механического пробоотбирателя по массовой доле хлористого калия

Номер пробы	$\alpha_1$ (ручной отбор)	$\alpha_2$ (механич. отбор)	$\Delta = \alpha_2 - \alpha_1$
1	95,975	95,375	-0,600
2	95,205	95,505	0,300
3	95,440	95,400	-0,040
4	95,405	95,585	0,180
5	95,435	95,435	0,000
6	95,350	95,330	-0,020
7	95,425	95,220	-0,205
8	95,190	95,565	0,375
9	95,590	95,350	-0,240
10	96,005	95,745	-0,260
11	95,370	95,560	0,190
12	95,400	95,525	0,125
13	95,585	95,655	0,070
14	95,050	95,220	0,170
15	95,435	95,005	-0,430
16	95,245	95,120	-0,125
17	95,170	95,430	0,260
18	95,585	95,195	-0,390
19	95,555	95,055	-0,500
20	95,435	95,265	-0,170
Среднее $\bar{\Delta}$			-0,06550
Среднеквадратичное отклонение $S_{\Delta}$			0,28014

Влияние непропорционального распределения ценного компонента по классам крупности минеральных продуктов может приводить к систематическим погрешностям, по своей значимости сопоставимым с нарушением технологии обогащения. В качестве показательного примера возникновения такой погрешности рассмотрено выполнение опробования золотосодержащей руды на одном из гидрометаллургических заводов.

При отборе точечных проб поступающей на завод руды из состава пробы умышленно удалялись куски крупностью более 100 мм. Причиной этому было отсутствие в схеме подготовки пробы дробилки. В среднем, содержание кусков более 100 мм в начальной пробе составляло 26 %. По результатам проведенной позднее экспериментальной оценки, массовая доля золота в удаленных из пробы кусках составила 4,0 г/т. Массовая доля золота в оставшейся начальной пробе равнялась 16,1 г/т. Таким образом, при сохранении в составе пробы крупных кусков массовая доля золота в ней составляла бы 13,0 г/т. Это означает, что систематическая погрешность результата опробования поступающей на завод руды составляет +19,3 %.

Систематическая погрешность опробования наглядно обнаруживается, когда один и тот же продукт проходит выходной и входной контроль на разных предприятиях или в разных подразделениях одного предприятия.

В таблице 2.5 приведены расхождения в результатах опробования концентратов марок «ОК» и «ОКу» между металлургическим и аффинажным заводами [153]. Расхождения проверены по критерию Стьюдента и отмечено наличие значимых систематических расхождений. Косвенным свидетельством наличия систематической погрешности является постоянство знака разницы результатов опробования. Можно констатировать систематическое занижение результатов при опробовании на аффинажном заводе или систематическое завышение результатов опробования на металлургическом заводе.

Таблица 2.5 – Расхождения результатов опробования концентратов на металлургическом и аффинажном заводах

Марка концентрата	Число партий концентрата	Расхождение результатов $\alpha_{A3} - \alpha_{M3}$ , %*		
		палладий	платина	золото
ОК	24	0	0	+0,023
ОКу	37	- 0,230	- 0,028	- 0,070
ОК	24	- 0,800**	- 0,000	- 0,016
ОКу	37	- 0,490**	- 0,138	- 0,110**
ОКу	7	- 1,220**	- 0,250**	- 0,120**
ОК	13	- 0,950**	- 0,070	- 0,030
ОКу	7	+0,160	- 0,020	- 0,010
ОК	24	0,000	0,000	+0,020

\* - в формуле: «А3» - аффинажный завод, «М3» - металлургический завод;

\*\* - значимые расхождения результатов опробования

Систематическая погрешность может возникнуть на любом этапе работы с пробой. Для проверки наличия систематических расхождений при выполнении анализов на обоих предприятиях был выполнен взаимный контроль работы аналитических лабораторий: выполнен обмен контрольными пробами



опробованных концентратов (анализ по «перекрестной» схеме) [153, 154, 155]. На основании результатов взаимной проверки установлено, что если проба подготовлена на аффинажном заводе и проанализирована в лабораториях обоих предприятий, результаты ее анализа совпадают как по концентрату марки «ОК», так и марки «ОКу» с абсолютными отклонениями по палладию (-0,1+0,03) % при допуске 0,22 %, по платине (-0,11+0,07) % при допуске 0,14 % и по золоту (-0,06+0,07) % при допуске 0,04 %. Очевидно, что в той и другой аналитических лабораториях систематические ошибки не допускаются. Из этого следует, что причину расхождений результатов опробования на обоих предприятиях нужно искать на этапах отбора и подготовки проб.

В таблице 2.6 приведены данные по опробованию 49 партий медного концентрата на обогатительной фабрике и на металлургическом заводе.

Положительная разница массовой доли меди при опробовании партий концентрата на металлургическом заводе наблюдалась в 20 случаях из 49. В таблице 2.6 найдены абсолютные расхождения результатов опробования для 49 партий концентрата. Из 49 результатов 48 результатов находятся в установленных допустимых пределах абсолютного расхождения.

Такой результат следует проверять на наличие систематической погрешности.

Таблица 2.6 – Распределение партий медного концентрата по положительной разнице массовой доли меди

№ п/п	Приоритет массовой доли меди					
	$\beta_{МЗ} > \beta_{ОФ}$			$\beta_{МЗ} \leq \beta_{ОФ}$		
	МЗ	ОФ	Расхождение результатов	МЗ	ОФ	Расхождение результатов
1	18,39	18,31	0,08	19,01	19,19	0,18
2	20,19	20,08	0,11	19,64	19,74	0,10
3	19,69	19,67	0,02	19,48	19,49	0,01
4	18,59	18,38	0,21	19,35	19,57	0,22
5	18,87	18,73	0,14	19,68	19,73	0,05
6	19,44	19,26	0,18	18,79	21,79	3,00 (промах)
7	19,35	19,12	0,23	19,44	19,60	0,16
8	18,74	18,71	0,03	19,27	19,40	0,13
.....						
28				18,87	19,08	0,21
29				18,18	18,37	0,19
Среднее значение	19,29	19,15	0,14	19,12	19,36	0,24
Среднее значение без промаха	---	---	---	19,13	19,27	0,14

Результаты опробования одной из 49 партий (партия № 6) выходят за допустимые пределы:

- $\beta_{МЗ} = 18,79 \%$ ;
- $\beta_{ОФ} = 21,79 \%$ .

При исключении из расчетов указанного промаха средние значения отклонений результатов опробования партий медного концентрата между обогатительной фабрикой и металлургическим заводом одинаковы и составляют 0,14 % абсолютных.

#### **2.4.2. Товарный баланс как универсальный способ оценки наличия систематической погрешности**

Способы обнаружения систематической погрешности по результатам эксперимента применимы к отдельной точке опробования. При наличии на обогатительной фабрике десятков точек опробования проверка каждой из них на значимую систематическую погрешность будет трудоемкой. Такая проверка оправдана только в случае прямого подозрения на наличие на обогатительной фабрике систематической погрешности в одной или нескольких точках опробования. Сформировать подобное подозрение возможно только на основании общей оценки технологии опробования на обогатительной фабрике. Для выполнения такой оценки может быть использован товарный баланс обогатительной фабрики.

Товарный баланс является технологическим отчетом о работе обогатительной фабрики за месяц, содержащий сведения о поступлениях исходного сырья, отгрузке товарных концентратов и выпуске хвостов, с учетом накопления сырья и концентратов в емкостях обогатительной фабрики [6, 46, 156, 157, 158].

Товарный баланс является внутренним документом обогатительной фабрики, никак не связанным с поставщиками сырья и потребителями товарной продукции, по этой причине в товарный баланс не следует включать результаты тех или иных измерений сырья и товарной продукции у поставщиков и потребителей. Товарный баланс в его правильном, независимом исполнении позволяет оценить состояние работы обогатительной фабрики и качество опробования продуктов обогащения непосредственно для самой обогатительной фабрики. При этом бессмысленно с помощью поправок или корректировок пытаться достичь какого-либо согласованного товарного баланса, так как такой товарный баланс теряет свой смысл как показатель состояния технологии обогащения и показатель качества опробования.

Для этого товарный баланс должен быть составлен по независимым отчетным документам за прошедший месяц. Такими документами являются:

1. Справка о поступлении на обогатительную фабрику сырья для переработки.
2. Справка об отгрузке концентратов.

3. Справка о выпущенных отвальных хвостах.

4. Акты снятия остатков материалов в емкостях на обогатительной фабрике (бункера руды, сгустители, склады концентратов и т. п.).

При составлении товарного баланса определяется невязка по ценному компоненту  $\Delta_k$ , представляющая собой разность между массой ценного компонента, содержащегося во всех выпущенных обогатительной фабрикой продуктах  $K_{\text{вып}}$  (концентраты, хвосты, учтенные механические потери) и во всех поступивших (входящих) на обогатительную фабрику продуктах  $K_{\text{вх}}$ . Расчет выполняется с учетом накопления или разгрузки всех емкостей обогатительной фабрики на начало и конец месяца:  $\sum K_{j \text{ нач}}$  и  $\sum K_{j \text{ кон}}$ .

Величина невязки определяется по формуле

$$\Delta_k = K_{\beta} + K_{\vartheta} + \sum K_{j \text{ кон}} - K_{\alpha} - \sum K_{j \text{ нач}} \cdot \quad (2.1)$$

Формула относительной невязки имеет вид

$$\Delta_{\text{отн}} = \frac{\Delta_k}{K_{\alpha}} \cdot 100\% \quad (2.2)$$

Отрицательная величина невязки означает «потери» ценного компонента на обогатительной фабрике, а положительная величина невязки – «прирост» ценного компонента.

Так как расчет невязки связан со случайной погрешностью, в расчете используется граница величины невязки, называемая допустимой невязкой  $\pm \Delta_{\text{доп}}$ .  
Условие

$$| \Delta_{\text{отн}} | > | \Delta_{\text{доп}} |$$

является поводом для необходимости поиска и устранения причин появления систематической погрешности.

В таблице 2.7 представлены невязки по меди и золоту, полученные на обогатительной фабрике за 19 месяцев. В той же таблице приведены допустимые невязки по всем металлам.

В третьем и четвертом месяце отрицательные невязки по меди и золоту показывают, что на обогатительной фабрике существуют зафиксированные по результатам опробования потери металлов, причину появления которых необходимо обнаруживать. Очевидно, что неучтенные потери меди и золота в размере от 5 до 38 % относительных на действующей обогатительной фабрике являются маловероятными. Потери ценного компонента, в разы превышающие допустимые, вероятнее всего обусловлены систематической погрешностью опробования и определения массы.

Таблица 2.7 – Фактические и допустимые невязки по меди и золоту

Номер месяца	Медь		Золото	
	невязка, %	допустимая невязка, %	невязка, %	допустимая невязка, %
1	-0,6	±2,8	+1,0	±18,5
2	+0,4		+12,2	
3	-4,9		-37,6	
4	-2,9		-19,5	
5	-2,0		-4,6	
6	+2,5		+12,0	
7	-1,9		-11,8	
8	-1,7		-6,1	
9	+1,4		-3,0	
10	-1,1		-21,0	
11	-2,2		-5,9	
12	+3,5		-6,9	
13	-0,6		-3,3	
14	+3,6		-10,0	
15	-4,4		-5,2	
16	-3,1		-4,9	
17	+2,3		-2,5	
18	+2,5		-12,6	
19	+3,2		-16,8	

Использование накопленной величины невязки также позволяет объяснить существующее правило сохранения знака фактической невязки за период не более, чем три месяца подряд [6, 52, 156, 159]. Если знак невязки предопределяется только случайной погрешностью, то изменение знака будет происходить периодически. Если знак невязки, помимо случайной погрешности, предопределяется значимой систематической погрешностью, изменения знака невязки может не происходить.

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.

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.

## **2.5. Необходимость пересмотра действующих стандартов на опробование**

Известны два способа предотвращения и устранения систематической погрешности [6, 145]:

1. Разработка технологии опробования, исключающей возникновение систематической погрешности при выполнении всех операций опробования.

2. Экспериментальное определение систематической погрешности и соответствующее изменение методической и технической части технологии опробования.

На практике в разной степени используются оба названных способа.

Технология опробования реализуется путем выполнения методики опробования, прописанной для практического выполнения в технологических и рабочих инструкциях, разрабатываемых на предприятиях. Сама методика разрабатывается на основании действующих стандартов на опробование, определяющих методические и технические основы технологии опробования. Согласно сформировавшимся подходам к выполнению опробования, выполнение требований стандартов позволяет исключить появление систематической погрешности.

Экспериментальное определение величины систематической погрешности возможно в случае предположения причины ее возникновения по методической, технической или организационной части технологии опробования, которые следует изменить для устранения указанной причины. Проверочное экспериментальное опробование выполняется после устранения предполагаемой причины возникновения систематической погрешности. Примеры подобных экспериментов и количественные результаты определения систематической погрешности приведены выше. Экспериментальное определение систематической погрешности подразумевает многократное повторение одних и тех же операций опробования, так как получаемый результат неизбежно сопровождается случайной погрешностью, в ряде случаев по величине превышающей определяемую систематическую погрешность. С увеличением числа повторных экспериментов величина случайной погрешности результата снижается обратнопропорционально квадратному корню из числа экспериментов. Многократному повторению подлежит как операция отбора проб, так и операции подготовки проб и их анализа.

Для результатов опробования не существует эталона, действие которого распространяется на все этапы опробования. Эталоны в виде стандартных образцов состава руд и продуктов обогащения имеют широкое применение только на этапе анализа проб, тогда как этапы отбора и подготовки проб не имеют стандартных образцов. Использование эталонов во всей технологии опробования фактически невозможно.

Приведенные примеры показывают, что основным способом предотвращения и устранения систематической погрешности на обогатительных фабриках является составление и использование *правильных* инструкций по опробованию, а также применение оборудования и инструментов, отвечающих требованиям *правильного* опробования. *Правильность* инструкций и соответствие требованиям *правильного* опробования должны быть основаны на соблюдении положений действующих стандартов на опробование. При этом нужно понимать, как соблюдение или несоблюдение положений стандартов повлияет на возникновение систематической погрешности. Для такого понимания требуется экспериментальное подтверждение возникновения или отсутствия систематической погрешности при различных отступлениях от стандартов. Кроме того, учитывая многообразие условий реализации технологии опробования, действующие стандарты затруднительно распространить на все это многообразие. Так, например, некоторые требования ГОСТ 14180-80 [15] не всегда получается адаптировать к условиям опробования в схеме «поставщик-потребитель» по части обязательного перемешивания поставляемых концентратов при отборе проб [3, 6, 145, 159, 160, 161]. Исходя из указанных причин, для разработки инструкций по опробованию, а также для разработки и применения оборудования и инструментов, будут необходимы универсальные общие правила исключения систематической погрешности. Современная теория опробования сформулировала такие правила в виде принципов правильного опробования [6]. Тем не менее, практика показала, что указанные принципы также носят обобщенный характер [145]. Характерным примером такой обобщенности является понятие равнопредставительности кусков и элементов опробуемого массива в точечных пробах и в объединенных пробах соответственно. Каждому из двух принципов даны по два дополнения, которые также оказались недостаточно применимы ко всему многообразию условий опробования. По этой причине заново сформулированы 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

$$\alpha = \arctg(v_k/v_n) \quad (2.3)$$

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:

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} \approx 0. \quad (2.4)$$

Перечисленные недостатки принципов правильного опробования характерны также для действующих нормативных документов, регламентирующих процессы опробования. Так, текст ГОСТ 14180-80 [15] не содержит точных определений, важных для количественной оценки некоторых операций опробования (ниже выделены курсивом).

С учетом сформулированных заново принципов правильного опробования и условий их применения требования ГОСТ 14180-80 могут быть уточнены:

1. Текст ГОСТ 14180-80 с неточным определением:

«4. При ручном отборе проб пульпы используется кружка вместимостью 1 л со щелевидным носком шириной не менее трехкратной величины максимальных частиц опробуемого материала. Отбор точечных проб пульпы кружкой следует производить на перепаде потока и добиваться постепенного заполнения кружки через щелевидный носок при равномерном пересечении потока пульпы по всей его ширине».

В тексте ГОСТ 14180-80 не предусмотрена ситуация, когда при отборе точечных проб пульпы на перепаде потока длина щелевидного носка кружки окажется меньше глубины (толщины) пересекаемого потока. В этом случае точечная проба может быть отобрана по всей ширине потока, но не будет отобрана по всей его глубине.

Текстом ГОСТ 14180-80 предусматривается, что при постепенном заполнении кружки через щелевидный носок при пересечении потока перемещение кружки может быть выполнено с изменяющейся скоростью. Также при отборе точечной пробы момент заполнения кружки может произойти при неполном пересечении потока по его ширине. При этом требование отбора точечной пробы фиксированного объема (один литр) не является обязательным, так как достаточный объем точечной пробы может оказаться менее одного литра.

При указанных обстоятельствах точечная проба будет сформирована из условных частей потока в пропорции, не соответствующей существующей пропорции между этими частями в опробуемом потоке. Таким образом, отбор точечной пробы не будет равнопредставительным [6].

Указанный параграф обязательного Приложения 2 следует применять в следующей редакции:

«4. При ручном отборе проб пульпы используется кружка вместимостью 1 л со щелевидным носком шириной не менее трехкратной величины максимальных частиц опробуемого материала. Отбор точечных проб пульпы кружкой следует производить на перепаде потока с постоянной линейной скоростью перемещения кружки относительно потока и заполнения кружки до необходимого объема точечной пробы через щелевидный носок при однократном равномерном пересечении потока пульпы по всей его ширине. Отбор точечных проб пульпы выполнять при помощи ручного щелевого пробника, длина рабочей поверхности которого превышает глубину потока на 20 – 25 %».

2. В тексте ГОСТ 14180-80 отсутствует понятие щели, как пробоотсекающего элемента. Исходя из текста ГОСТ 14180-80, щель определяется только «отсекающими краями» и расстоянием между ними [3, 15].

На самом деле щель, как пробоотсекающий инструмент, помимо отсекающих краев, должна иметь определенную высоту в направлении, совпадающем с направлением движения опробуемого потока. Это обеспечит условия, при которых куски (частицы) опробуемого потока будут входить в щель без потери скорости и изменения направления движения.



Помимо высоты, *щель должна иметь строго определенную форму по отсекающим краям* – должно быть определено взаимное расположение отсекающих краев. Это вызвано необходимостью изменения взаимного расположения отсекающих краев в зависимости от траектории пересечения потока. Примером может являться секторный пробоотбиратель, у которого отсекающие края отсекателя (ножа) расположены под углом друг к другу.

3. В тексте ГОСТ 14180-80 не указано, *какая скорость* имеется в виду при пересечении потока: *угловая, линейная, тангенциальная или составляющие скорости (например, тангенциальная, перпендикулярная скорости потока)*. Несмотря на отсутствие данного описания, требования стандарта к скорости пересечения следует понимать в следующем контексте:

*«...с постоянной составляющей скорости пробоотсекающего устройства, перпендикулярной скорости потока».*

4. Текст ГОСТ 14180-80 с неполным определением:

*«1.5. Отбор проб производят во время перемещения руды или концентрата, до или непосредственно после взвешивания».*

Указанное требование целесообразно уточнить в следующем виде:

*«1.5. Отбор проб производят во время перемещения руды или концентрата, до или непосредственно после взвешивания, с учетом обеспечения минимально возможного интервала времени между отбором проб и взвешиванием, а также с учетом обеспечения минимально возможного расстояния перемещения руды или концентрата между отбором проб и взвешиванием».*

Ниже продемонстрировано применение второго принципа правильного опробования в предлагаемых условиях на примере обогащения хромовых руд:

1. Опробование на влажность окатышей:

По технологии производства окатыши хромовых концентратов поступают на склад в сухом виде. По данным за календарный год окатыши имели влажность в диапазоне 0,1 – 0,2 % во всех отгружаемых партиях. Отбор проб на влагу выполняется после загрузки окатышей в вагоны. При опробовании у потребителя влажность окатышей значительно возросла – до 5,9 % влаги в партии. Из 41 партии в 16 партиях влажность была более 1 %, а в пяти партиях – более 5 %.

В целом за календарный год потребитель оценил влажность окатышей в 1,4 % (таблица 2.8). Важно, что отбор проб на влагу у потребителя выполняется до разгрузки вагонов.

Указанное изменение влажности всей массы окатышей в вагоне за счет природных осадков, попадающих в вагоны при транспортировке, невозможно: для увеличения влажности 60 т окатышей (ориентировочная масса окатышей в грузовом вагоне) только на 1 % потребуется 600 кг воды. При пересчете на количество природных осадков, с учетом площади грузового вагона 37 м<sup>2</sup>, такая масса воды эквивалентна 16 мм осадков в виде дождя за период транспортировки (промежуток времени между загрузкой окатышей в вагоны на складе обогатительной фабрики и разгрузкой у потребителя). Увеличение влажности окатышей на 5 % потребует уже 80 мм осадков в виде дождя за тот же период.

При среднестатистической норме осадков для региона нахождения обогатительной фабрики в 250 мм в год попадание рассчитанного количества воды в вагоны с окатышами за период между загрузкой и разгрузкой не представляется возможным.

Таблица 2.8 – Результаты определения влажности партий окатышей у потребителя и поставщика

Месяц	Влажность партий окатышей, %	
	у потребителя	у поставщика
Январь	0,50; 0,05; 0,20; 0,08; 0,30	0,10; 0,10; 0,10; 0,10; 0,20
Февраль	0,06; <u>0,50</u> ; <u>3,70</u>	0,10; 0,10; 0,10
Март	<u>1,80</u> ; 0,06; 0,06	0,20; 0,10; 0,10
Апрель	0,10; <u>1,00</u> ; 0,20	0,20; 0,10; 0,20
Май	0,20; 0,10; 0,08; 0,20; <u>3,10</u> ; <u>3,20</u>	0,10; 0,10; 0,20; 0,10; 0,10; 0,20
Июнь	<u>1,90</u> ; 0,20; <u>1,00</u>	0,10; 0,10; 0,20
Июль	<u>0,90</u> ; 0,07; <u>2,00</u>	0,20; 0,10; 0,10
Август	<u>2,50</u> ; <u>1,40</u> ; <u>0,60</u>	0,10; 0,10; 0,10
Сентябрь	<u>0,70</u> ; <u>0,80</u> ; 0,05	0,10; 0,10; 0,20
Октябрь	<u>5,70</u> ; <u>5,90</u> ; <u>2,60</u> ; <u>5,00</u>	0,10; 0,10; 0,10; 0,10
Ноябрь	0,04; <u>0,60</u>	0,10; 0,10
Декабрь	<u>5,60</u> ; <u>3,90</u> ; 0,20	0,20; 0,20; 0,10
Итого за год	1,40	0,13

По данным таблицы 2.8, из 41 партии окатышей превышение их влажности у потребителя более, чем в два раза, зафиксировано для 22 партий. Характерно, что расчет среднего значения влажности окатышей у потребителя по остальным 19 партиям (без экстремальных значений превышения влажности) дает результат 0,15 % (таблица 2.9). Это говорит о наличии значимой систематической погрешности при определении влажности у потребителя в отмеченных высокой влажностью 22 партиях.

За счет осадков изменяется влажность поверхностного слоя окатышей в вагоне, от которого по действующей методике выполняется отбор проб. Глубина такого поверхностного слоя может не превышать 0,3 м. При этом характерно, что наибольшее количество партий окатышей с превышением влажности у потребителя приходится на период года с весны по осень включительно, когда наиболее характерны осадки в виде дождя.

В связи с этим можно рекомендовать выполнять отбор проб на определение влажности у потребителя от массы окатышей в вагоне на глубине, не подверженной влиянию осадков: в точках отбора проб предварительно снимать верхний влажный слой и отбирать пробы из лунок, выкапываемых под ним. Таким образом, пробы на определение влажности будут отобраны только от той части массива, которая не подверглась изменению состава.

Таблица 2.9 – Результаты определения влажности партий окатышей без учета партий с экстремальным превышением влажности у потребителя и поставщика

Месяц	Влажность партий окатышей, %	
	у потребителя	у поставщика
Январь	0,50; 0,05; 0,20; 0,08; 0,30	0,10; 0,10; 0,10; 0,10; 0,20
Февраль	0,06; ---; ---	0,10; 0,10; 0,10
Март	---; 0,06; 0,06	0,20; 0,10; 0,10
Апрель	0,10; ---; 0,20	0,20; 0,10; 0,20
Май	0,20; 0,10; 0,08; 0,20; ---; ---	0,10; 0,10; 0,20; 0,10; 0,10; 0,20
Июнь	---; 0,20; ---	0,10; 0,10; 0,20
Июль	---; 0,07; ---	0,20; 0,10; 0,10
Август	---; ---; ---	0,10; 0,10; 0,10
Сентябрь	---; ---; 0,05	0,10; 0,10; 0,20
Октябрь	---; ---; ---; ---	0,10; 0,10; 0,10; 0,10
Ноябрь	0,04; ---	0,10; 0,10
Декабрь	---; ---; 0,20	0,20; 0,20; 0,10
Итого за год	0,15	0,13

## 2. Опробование на влажность крупнокусковой готовой продукции:

Отбор проб на влажность крупнокусковых товарных продуктов крупностью до 300 мм связан с методическими и техническими трудностями, что предопределяет высокую погрешность определения влажности таких продуктов [11, 13 – 15]. Ручной отбор проб в таких условиях данную погрешность только увеличивает.

Так, например, в поставках хромовой руды в течение календарного года из отобранных 313 проб в 62 пробах влажность была меньше 0,4 %, иногда доходя до 0,04 – 0,05 % [145]. Такая низкая влажность не характерна даже для крупнокусковых продуктов. У 24 проб влажность была больше 4 %, иногда составляя величину до 7,13 %.

Так как изменение влажности крупнокусковых продуктов при хранении на складах за счет дренажа практически исключено, а за счет испарения незначительно, то влажность отгружаемой крупнокусковой товарной продукции следует принимать по результатам опробования ее при переработке исходной руды на обогатительной фабрике.

## 3. Опробование на влажность концентратов крупностью менее 3 мм:

Концентраты крупностью менее 3 мм выпускаются на обогатительной фабрике с влажностью от 10 до 20 %. Отгружаются эти концентраты с влажностью 1 – 3 %. Доказано, что при влажности 10 – 20 % для мелкодробленых продуктов возможен эффект дренирования свободной (гравитационной) влаги, а при перевалках и хранении таких продуктов – испарение этой влаги [6, 145]. При этом определяемая весами масса концентратов может снижаться на 7 – 17 %.

Очевидно, что такое снижение массы не является потерями сухой массы и массы оксида хрома, а вызвано именно изменением массы сырого концентрата.

Предложение по учету изменения влажности концентратов крупностью менее 3 мм:

- определять состояние складов концентратов, в которых происходит изменение влажности при хранении не по весам на выходе обогатительной фабрики, а по результатам маркшейдерских замеров;

- влажность при расчете сухой массы концентратов на складе принимать по результатам опробования концентрата в вагонах перед отправкой потребителю.

Наблюдается устойчивое превышение влажности концентратов при их опробовании у потребителя: от 0,23 до 1,2 %.

Такое превышение возможно при условии, что поверхность навала концентратов увеличивает свою влажность за счет осадков за период транспортировки (аналогично окатышам).

Рекомендация по опробованию концентратов крупностью до 3 мм на влажность у потребителя аналогична рекомендации для окатышей – в точках отбора проб предварительно снимать верхний влажный слой концентрата и отбирать пробы из лунок, выкапываемых под ним в слое концентрата с естественной влажностью.

Действующие стандарты на отбор и подготовку проб хромовых руд и концентратов приведенных выше рекомендаций не содержат [145, 162, 163].

## 2.6. Выводы

1. 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.

Способ предотвращения и исключения систематической погрешности, заключающийся в выполнении требований действующих стандартов на опробование или выполнении принципов правильного опробования, не позволяет учесть многочисленные особенности технологии и техники опробования.

2. Практика ручного и механизированного отбора, подготовки и анализа проб подтверждает многочисленные нарушения принципов правильного опробования. Эти нарушения происходят в результате следующих причин:

- 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;
- 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 непосредственном анализе потоков пульпы и сыпучих продуктов.

Нарушения приводят к значимым систематическим погрешностям определения массовой доли, массы и влажности. Некорректное расположение пробоотсекателя, приводящее к частичному пересечению опробуемого потока, приводит к систематическому завышению массовой доли меди в медно-цинковой руде на 17 % относительных. Определяемая масса хромовых концентратов крупностью менее 3 мм при поставке потребителю может изменяться в пределах 5 % относительных. Влажность крупнокусковых продуктов за счет действия систематических погрешностей может быть определена в пределах от 0,05 до 7,00 % при истинной влажности в пределах 2 – 3 %.

Массовый характер указанных нарушений приводит к необходимости уточнения принципов правильного опробования, направленного на демонстрацию очевидности таких нарушений, а также исключения этих нарушений из практики опробования.

3. Универсальным инструментом для выявления и оценки систематических погрешностей опробования на обогатительных фабриках является товарный баланс продуктов обогащения по ценным компонентам. При помощи товарного баланса выполняется интегральная оценка погрешностей определения массовой доли ценных компонентов, определения влажности продуктов, а также определения массы продуктов прямым и косвенным взвешиванием. Исходными данными для составления товарного баланса обогатительной фабрики являются результаты текущего опробования и взвешивания продуктов обогащения. Выполнение дополнительного опробования для составления товарного баланса не требуется. Единственной операцией, необходимой для получения указанной исходной информации, выполняемой дополнительно к текущему опробованию, является определение массы ценных компонентов в емкостях обогатительной фабрики (в бункерах, сгустителях, складах).

Товарный баланс составляется только по измеряемым на обогатительной фабрике показателям. Учет и согласование расхождений с поставщиками руды и потребителями товарных концентратов по массам ценных компонентов должны отражаться в отдельных документах и учитываться в финансовой документации предприятия. Бухгалтерский учет ценных компонентов в руде и товарной

продукции не может являться основанием для исправления товарного баланса обогатительной фабрики.

4. При использовании конвейерных весов возможно изменение массы ленты ленточного конвейера за счет ее изнашивания или налипания транспортируемого продукта в межповерочный период (изменение массы ленты до нескольких процентов относительных). Также распространенным явлением является накапливание пыли и просыпей транспортируемого ленточным конвейером продукта на раме весов и других элементах конструкции. В данном случае накопленный материал в непрерывном режиме взвешивается совместно с продуктом на ленте конвейера.

При определении влажности продукта возможно ее изменение во времени вследствие дренирования свободной влаги, испарения влаги или дополнительного увлажнения из-за природных осадков.

При выполнении косвенного взвешивания систематические погрешности возникают как при измерении объема и расхода потока, так и при определении насыпной плотности сыпучего продукта, плотности пульпы и плотности твердого в пульпе.

5. Для исключения систематических погрешностей опробования руд и продуктов обогащения, а также их взвешивания, необходимо изменение методических основ разработки стандартов на опробование, а также рабочих документов предприятий, составленных на основе стандартов. Изменения должны содержать в себе детализацию предложенных принципов правильного опробования и условия их выполнения при опробовании продуктов обогатительных фабрик.

Экспериментальный способ оценки систематической погрешности следует использовать только для устранения разногласий в системе поставок руд и концентратов между рудниками, обогатительными фабриками и потребителями концентратов.

6. Действие случайных и систематических погрешностей на результаты опробования различны для длинных и коротких контрольных периодов. На коротких интервалах времени (смена, сутки) преобладающее влияние на результат опробования имеют случайные погрешности, на длинных интервалах времени (декада, месяц) преобладающее влияние имеют систематические погрешности.

7. Систематические нарушения принципов правильного опробования приводят к необходимости пересмотра действующих стандартов на опробование. Развитие технологии и техники опробования, связанное с использованием отбора проб способом продольного пересечения, также требует внесения в действующие стандарты новых требований и правил.

### 3. Случайная погрешность опробования

#### 3.1. Случайные погрешности различных способов отбора проб

##### 3.1.1. Случайная погрешность отбора пробы способом поперечного пересечения. Необходимость экспериментального определения коэффициента вариации массовой доли в точечных пробах

Случайная погрешность отбора объединенных проб способом поперечного пересечения потока функционально связана с неоднородностью опробуемого массива, характеризуемой коэффициентом вариации точечных проб  $V_T$  [6, 132, 164]:

$$V_T = \frac{S_T}{\bar{\alpha}} \cdot 100, \% \quad (3.1)$$

где  $S_T$  – среднеквадратичное отклонение массовой доли в точечных пробах;  
 $\bar{\alpha}$  – средняя массовая доля.

Коэффициент вариации точечных проб определяется экспериментально.

Определение и использование коэффициентов вариации массовой доли компонентов в продуктах переработки обогатительных фабрик предусмотрено стандартом на опробование ГОСТ 14180-80 [15]. Стандарт определяет расчет числа точечных проб, которые следует отбирать от партии продукта, а также минимальной массы пробы после определения коэффициента вариации.

Согласно ГОСТ 14180-80 коэффициент вариации определяется для партии концентрата, под которой подразумевается масса концентрата, отгружаемая по одному сертификату. Для других неподвижных продуктов под партией обычно подразумевают весь неподвижный опробуемый массив. Для потоков, т. е. для всех остальных продуктов, опробуемых непосредственно на обогатительных фабриках, под партией понимается масса продукта, проходящего через точку опробования за смену. Следовательно, коэффициент вариации непосредственно связан с массой опробуемого массива (партий) или контрольного периода (смена). В приложении 1 стандарта [15] изложена методика выполнения эксперимента по определению коэффициента вариации применительно к партии и приведен пример расчета.

Недостаток существующей методики заключается в том, что коэффициенты вариации, полученные за относительно малый контрольный период, в значительной степени предопределяются случайными погрешностями опробования.

На рисунке 3.1 представлено изменение массовой доли меди в течение одной смены по шестиминутным анализам, полученным с помощью рентгеноспектрального анализатора на конвейере питания мельниц. Там же

указаны доверительные интервалы погрешности анализа. Изменения массовой доли за короткий период могут быть соизмеримы с погрешностью анализа. Следовательно, при экспериментальном определении коэффициента вариации необходимо учитывать погрешности опробования, составной частью которых являются и погрешности анализа [26, 33, 87, 104, 132, 165].

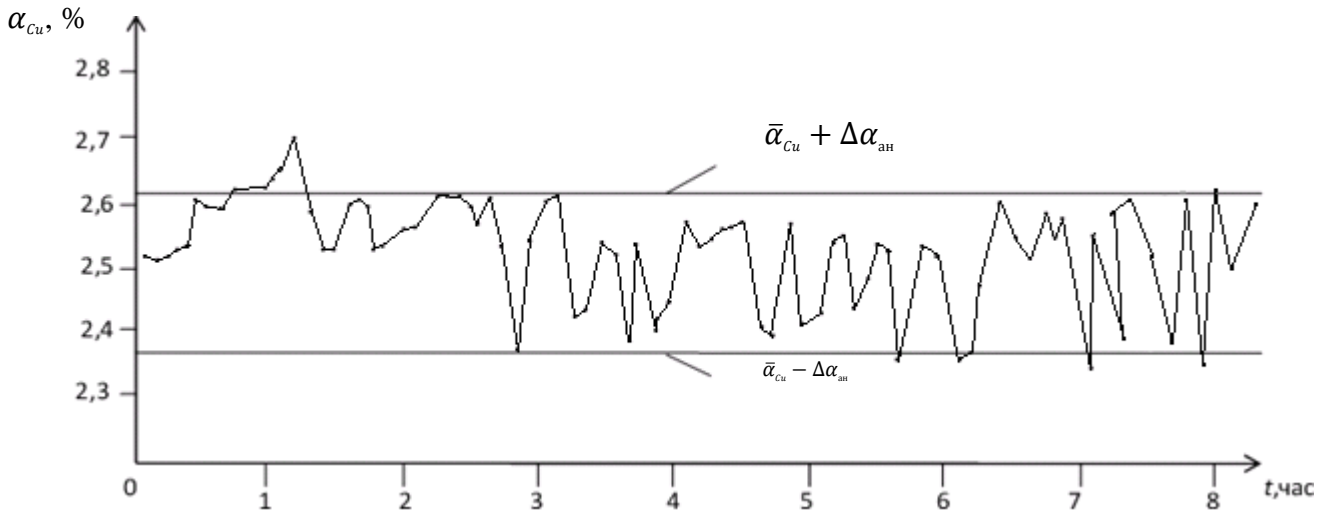


Рисунок 3.1 – Изменение массовой доли меди в потоке (по данным шестиминутных анализов)

Дисперсия результатов опробования массовой доли компонентов в потоке  $S_{\alpha}^2$  состоит из двух составляющих: дисперсии изменения самой массовой доли компонента в потоке  $S_{\pi}^2$  и дисперсии, связанной с опробованием  $S_{оп}^2$

$$S_{\alpha}^2 = S_{\pi}^2 + S_{оп}^2. \quad (3.2)$$

Отсюда искомая дисперсия изменения массовой доли в потоке

$$S_{\pi}^2 = S_{\alpha}^2 - S_{оп}^2. \quad (3.3)$$

Определение дисперсии  $S_{\pi}^2$  по разности  $S_{\pi}^2 = S_{\alpha}^2 - S_{оп}^2$  может приводить к большим ошибкам, так как разность этих величин будет предопределяться их собственными погрешностями. Кроме этого, погрешность опробования  $S_{оп}^2$  определяется по более сложной методике дубликатного опробования и обычно на обогатительных фабриках неизвестна.

В одной из работ [95] приведены результаты определения коэффициентов вариации по ГОСТ 14180-80 для трех металлов в сливе классификатора по 51 пробе, отобранной в течение смены (таблица 3.1). В таблице 3.1 приведены также коэффициенты вариации, которые могут быть вызваны погрешностями опробования, полученными экспериментально на том же сливе классификатора при дубликатном опробовании.



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

Из таблицы 3.1 следует, что коэффициенты вариации, полученные за смену, могут в значительной мере, либо даже полностью предопределяться погрешностями опробования.

Еще большее превышение погрешностей опробования над вариацией массовой доли в потоке отмечено в работе [7]. Экспериментально получены коэффициенты вариации, вызванные подготовкой и анализом проб рудного слива по трем металлам. Они получены в диапазоне от 9 до 12 %, что существенно превышает коэффициенты вариации отбора проб, т. е. коэффициенты вариации в потоке, характеризующие неоднородность партии, которые оказались в диапазоне 0,67 – 2,60 %.

Для того, чтобы коэффициент вариации, определяемый по  $S_{\alpha}^2$ , характеризовал, в основном, изменение компонента в потоке  $S_n^2$ , нужно, чтобы  $S_{оп}^2$  было намного меньше  $S_n^2$ . А это возможно, если находить коэффициент вариации потока за большой промежуток времени [87]. При этом изменения массовой доли в разные смены происходят различным образом [166]. На рисунке 3.2 показано изменение массовой доли меди в руде за шесть суток. Из рисунка видно, что имеются смены, в течение которых изменения массовой доли невелики, но имеются смены, в течение которых массовая доля изменялась значительно. Поэтому для общей характеристики смен нужно находить средний коэффициент вариации за достаточно большое число смен, что стандартом не предусмотрено.

Необходимость получения среднего коэффициента вариации и учета погрешностей подготовки и анализа проб приводят к выводу, что для получения коэффициентов вариации целесообразно использовать результаты текущего оперативного опробования на обогатительной фабрике.

Обычно на обогатительных фабриках при текущем опробовании формируются объединенные пробы. Так, могут быть отобраны точечные пробы каждые 0,5 часа, а проанализированы объединенные двухчасовые пробы. При автоматическом отборе проб точечные пробы отбираются с интервалом от пяти до десяти минут, а анализируются объединенные пробы за два и более часа [87].

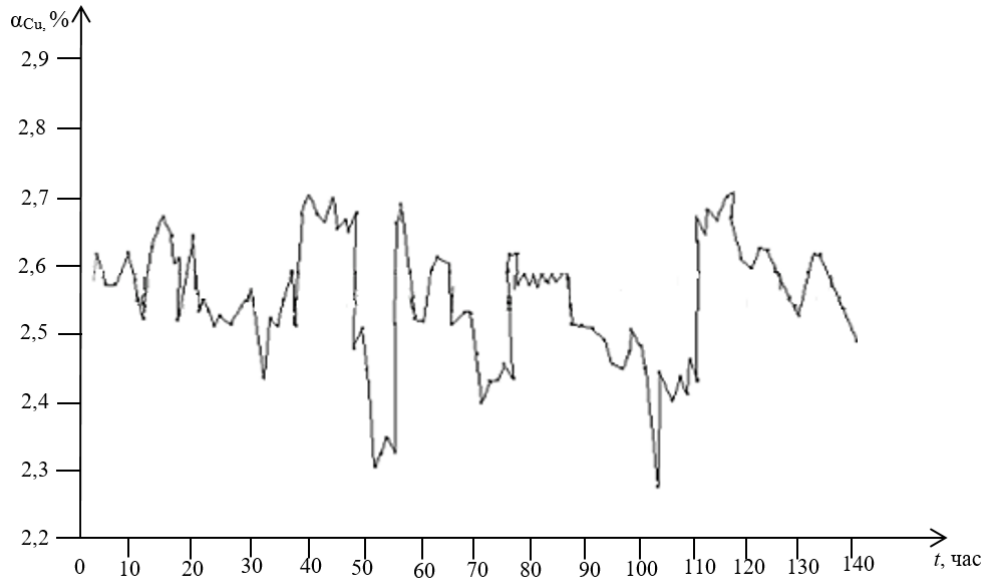


Рисунок 3.2 – Изменение массовой доли меди в течение шести суток  
(по данным часовых анализов)

В этом случае дисперсия результатов опробования в анализируемых пробах  $S_{\alpha}^2$ , будет определяться формулой

$$S_{\alpha}^2 = S_{\pi}^2 - \frac{n_{об}-1}{n_{об}} \cdot S_{об}^2 + S_{оп}^2. \quad (3.4)$$

где  $S_{\pi}^2$  – дисперсия, определяемая изменением массовой доли в опробуемом массиве;  $S_{об}^2$  – дисперсия, определяемая изменением массовой доли в опробуемом массиве на интервале времени формирования объединенной пробы;  $S_{оп}^2$  – дисперсия, определяемая погрешностями подготовки и анализа объединенной пробы;  $n_{об}$  – число точечных проб, формирующих объединенную.

Отсюда, искомая величина дисперсии массовой доли в партии

$$S_{\pi}^2 = S_{\alpha}^2 + \frac{n_{об}-1}{n_{об}} \cdot S_{об}^2 - S_{оп}^2. \quad (3.5)$$

Формула (3.5) показывает, что использование объединенных проб даже улучшает результат определения  $S_{\pi}^2$ , так как  $S_{об}^2$  может компенсировать влияние  $S_{оп}^2$ .

На медно-цинковой обогатительной фабрике выполняется оперативное опробование слива классификатора на медь и цинк. Пробы отбирают каждые полчаса, а анализируют двухчасовые объединенные пробы. Пример результатов анализа за сутки приведен в таблице 3.2.

По результатам анализа двухчасовых проб найдены средние коэффициенты вариации для различных контрольных периодов (таблица 3.3).

Таблица 3.2 – Результаты анализа двухчасовых проб за сутки

Металл	Часы											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Медь, %	2,40	1,98	1,76	2,36	2,24	2,06	1,52	2,12	1,75	1,75	1,67	2,12
Цинк, %	5,03	4,81	4,88	5,01	5,34	5,01	5,74	5,14	5,08	4,94	4,70	4,64

Таблица 3.3 – Средние коэффициенты вариации по меди и цинку

Металл	Средняя массовая доля за месяц, %	Контрольные периоды				
		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

Зависимости средних коэффициентов вариации от величины контрольного периода представлены на рисунке 3.3. Из рисунка следует, что достаточно большим можно считать контрольный период 1 – 5 суток.

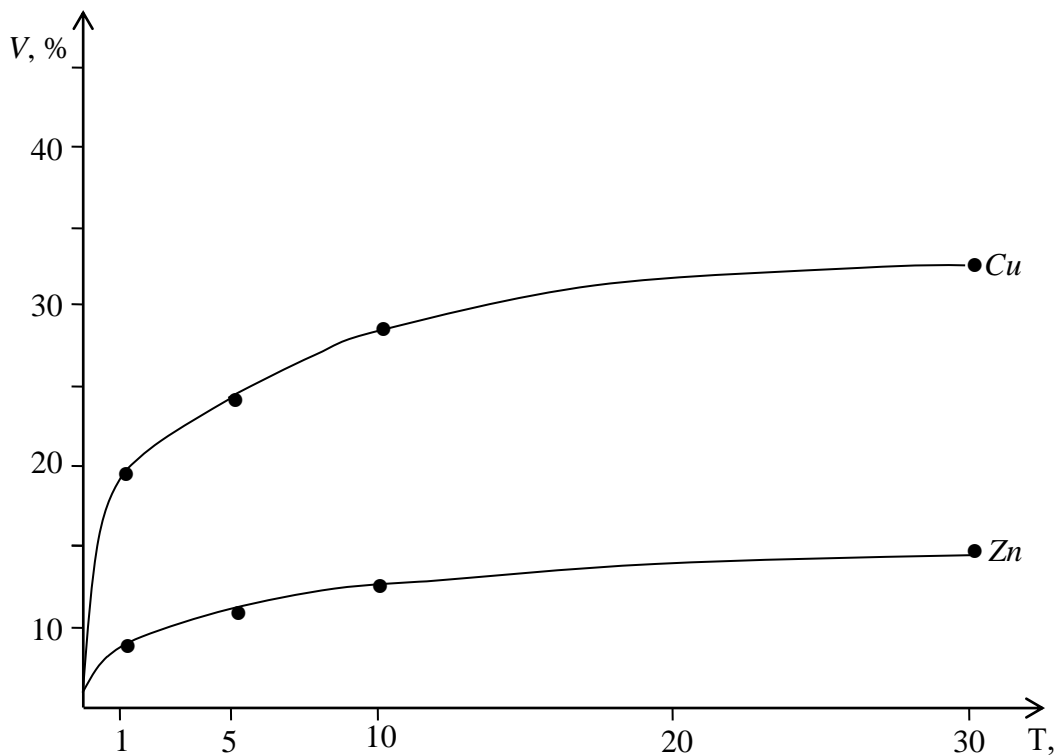


Рисунок 3.3 – Зависимости средних коэффициентов вариации по меди и цинку от величины контрольного периода

При  $T = 0$  коэффициент вариации определяется массой точечных проб и погрешностью их анализа.

Приняв, что сутки достаточно большой контрольный период для определения сменных (т. е. для партии) коэффициентов вариации, приведем необходимые расчетные формулы при анализе двухчасовых объединенных проб.

Для каждого из  $N$  суток (включающих по 12 результатов опробования):

$$S_{\alpha_j} = \left[ \sum_{i=1}^{12} (\alpha_{ji} - \bar{\alpha}_j)^2 / (12 - 1) \right]^{1/2}. \quad (3.6)$$

Находим среднее значение  $\bar{S}_{\alpha}$

$$\bar{S}_{\alpha} = \frac{\sum_{j=1}^N S_{\alpha_j}}{N} \quad (3.7)$$

и средний коэффициент вариации для суток

$$V_{\alpha_{\text{сут}}} = \frac{\bar{S}_{\alpha}}{\bar{\alpha}} \cdot 100 \%. \quad (3.8)$$

Аналогично следует найти коэффициент вариации за 0,5 суток. Тогда возможно построить зависимости  $V_{\alpha}$  от  $T$  которые заканчиваются точками  $V_{\text{он}}$ .

Соответствующие зависимости  $V_{\alpha}$  от  $T$  показаны на рисунке 3.4.

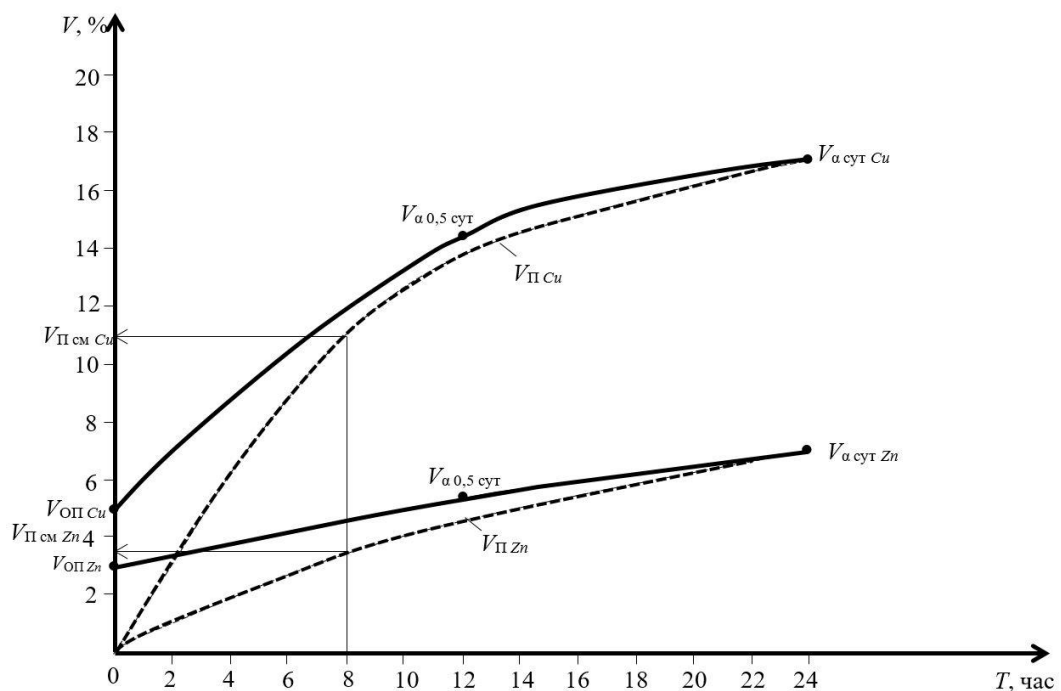


Рисунок 3.4 – К построению  $V_{\Pi}$  от  $T$  и определению  $V_{\Pi см}$  для партии – смены (восемь часов)

Для пульпы погрешность подготовки пробы обычно невелика, и в качестве коэффициента вариации, связанного с опробованием, возможно принять коэффициент вариации анализа. В указанном примере  $V_{\text{он Cu}} = 5,0 \%$  и  $V_{\text{он Zn}} = 3,0 \%$ .

В результате соединения точки  $V_{\alpha \text{сут}}$  с  $V = 0$  (пунктирные линии) при  $T = 0$  (так как коэффициент вариации потока при  $T = 0$  равен нулю), получается зависимость коэффициента вариации потока  $V_{\text{п}}$  от контрольного периода  $T$ . По этим зависимостям коэффициенты вариации для смены в восемь часов получаются равными  $V_{\text{п см Cu}} = 11,2 \%$  и  $V_{\text{п см Zn}} = 3,8 \%$ .

На медно-цинковой обогатительной фабрике по результатам оперативного опробования за месяц найдены средние коэффициенты вариации по объединенным пробам (за 4 часа), за смену (12 часов) и за сутки, (таблица 3.4) для массовой доли меди.

Таблица 3.4 – Коэффициенты вариации по меди для различных контрольных периодов

Месяц	Коэффициенты вариации		
	по 4-х часовым анализам	по 12-ти часовым (сменным) анализам	по 24-х часовым (суточным) анализам
Апрель	25,30	9,10	8,60
Май	31,60	10,40	6,10
Среднее	28,45	9,75	7,35

Соотношение значений коэффициентов вариации укладывается в параболическую зависимость коэффициента вариации  $V_{\text{п}}$  от контрольного периода. Поэтому для того, чтобы избежать построений, возможно использовать установленный факт хорошего описания  $V_{\text{п}}$  параболой, т. е. формулой

$$V_{\text{п}}(T) = V_{\text{п сут}} \cdot \sqrt{\frac{T}{T_{\text{сут}}}} \quad (3.9)$$

Для зависимости на рисунке 3.4 для меди  $V_{\text{п сут}} = 18,2 \%$ .

Расчет величины  $V_{\text{п см}}$ , для которого  $T = 8$  ч, будет следующим:

$$V_{\text{п см}}(8) = 18,2 \cdot \sqrt{\frac{8}{24}} = 10,5 \%$$

Полученный результат близок к найденной графическим построением величине 11,2 %.

Для цинка  $V_{\text{п см}}(8) = 4,3 \%$ ; по графической зависимости на рисунке 3.4 –  $V_{\text{п см}}(8) = 3,8 \%$ .

Изменение средней массовой доли от партии к партии для концентратов происходит скачкообразно, поэтому определять коэффициент вариации необходимо иначе, чем для потоков [7, 95, 167].

Установлен факт незначительного изменения массовой доли в отдельных партиях концентратов, но при относительно сильной нестабильности массовой доли между партиями. Так коэффициенты вариации в отдельных партиях концентратов по свинцу колебались в диапазоне 1 – 4 %, по цинку 0,5 – 5,0 %, по

меди 0,7 – 7,0 % (меньшие цифры относятся к одноименным концентратам). В то же время коэффициенты вариации между партиями гораздо больше – от 4 % до 33 % [6, 7, 50]. Поэтому их следует находить как усредненные по  $N$  партиям:

$$\bar{S}_n^2 = \bar{S}_\alpha^2 - \frac{S_{on}^2}{N}, \quad (3.10)$$

Следовательно, при большом  $N$

$$\bar{S}_n \sim \bar{S}_\alpha. \quad (3.11)$$

Число партий  $N$  следует оценить по величине  $S_{on}$  погрешности опробования или анализа [167, 107].

Величину  $S_\alpha^2$  для каждой  $i$ -ой партии следует находить путем анализа серии объединенных проб. Так, если партия представлена 30 контейнерами, то от каждого контейнера целесообразно отобрать объединенную пробу и получить 30 результатов для расчета  $S_\alpha^2$ .

### **3.1.2. Случайная погрешность отбора проб способом продольного пересечения. Снижение информативности точечных проб при переходе к малым интервалам времени их отбора**

Способ продольного пересечения потока при отборе точечных проб имеет широкое распространение на обогатительных фабриках.

Принцип продольного пересечения потока применяется при экспресс-анализе потоков в виде продольного дискретного или непрерывного сканирования. Многие приборы для определения массовой доли непосредственно в потоках пульпы либо руды на ленте конвейера фактически используют способ продольного пересечения [5, 25, 50, 59, 63, 72, 88, 128, 168]. Определение случайных погрешностей при использовании способа продольного пересечения потока имеет ряд особенностей.

При отборе проб способом поперечного пересечения точечная проба может быть представлена как часть потока, изъятая из него в одной точке, так как отбор пробы занимает относительно короткий промежуток времени. При отборе проб способом продольного пересечения отбор точечной пробы занимает более продолжительное время. Для автоматического экспресс-анализа этот промежуток времени будет являться продолжительностью измерения массовой доли ценного компонента в потоке.

Масса точечной пробы при отборе проб способом поперечного пересечения предопределяется параметрами пробоотсекающего элемента: шириной щели и скоростью ее перемещения поперек опробуемого потока.

Масса точечной пробы при отборе (анализе) проб способом продольного пересечения (сканирования) определяется по формуле

$$q = s \cdot \vartheta \cdot \tau_o \cdot \rho_{об} = l \cdot h \cdot \vartheta \cdot \tau_a \cdot \rho_{об}, \quad (3.12)$$

где  $s$  – площадь поперечного сечения отбираемой или анализируемой части потока,  $m^2$ ;  $\vartheta$  – скорость потока,  $m/c$ ;  $\tau_o$ ,  $\tau_a$  – продолжительности отбора или анализа,  $c$ ;  $\rho_{об}$  – объемная плотность материала в потоке  $kg/m^3$ ;  $l$  и  $h$  – ширина и толщина опробуемого (анализируемого) потока,  $m$ .

Масса пробы, анализируемой непосредственно в потоке, зависит от типа и устройства экспресс-анализатора и его режима работы (обычно – режим таймера) [27, 62, 63, 64, 148, 168, 169]. Продолжительность анализа одной точечной пробы составляет для анализаторов AP-31n 60 секунд, для анализаторов типа «Курьер» – 20 секунд, для анализаторов PA-931 – от 15 до 300 секунд. Наиболее распространенная на практике продолжительность измерения составляет от 20 до 60 секунд. Средняя ширина анализируемой полосы потока пульпы составляет 15 мм. Толщина анализируемого слоя потока зависит от атомного номера определяемого элемента, но в любом случае составляет десятые доли миллиметра (в среднем 0,5 мм). В качестве примера можно рассмотреть наиболее распространенные условия выполнения экспресс-анализа:

- скорость потока пульпы относительно окна анализатора – 1 м/с;
- объемная плотность твердого в пульпе – 0,25  $\rho_{ТВ}$  ( $\rho_{ТВ} = 3\ 000\ kg/m^3$ ).

В результате расчета массы анализируемой точечной пробы по формуле (3.12) получен результат  $q = 0,1 - 0,3$  кг. Сухая масса точечной пробы, ограниченная принятой продолжительностью анализа 20 – 60 секунд, составляет от 0,1 до 0,3 кг. Это означает, что анализируемые в потоке навески имеют массу, намного большую, чем обычно используемые при анализе навески. Например, при анализе проб руд цветных металлов используются навески массой 0,5 – 1,0 г. Таким образом, использование анализаторов массовой доли в потоках пульпы для руд цветных металлов имеет существенное преимущество по массе анализируемой пробы, и при хорошем методическом обеспечении не должно уступать большинству других видов анализа. Также неоспоримым преимуществом автоматических экспресс-анализаторов является их высокая производительность и оперативность.

Основным условием правильного использования способа продольного пересечения является достаточная турбулизация (перемешивание) опробуемого продукта в точке отбора пробы или анализа. При выполнении условия турбулизации такой отбор проб эквивалентен отбору проб от тщательно перемешанного массива, для которого погрешность  $S_\alpha$  зависит от массы пробы  $q$ :

$$S_\alpha^2 = 2fS_K^2 \cdot \rho (\bar{d}_3)^{3-b} \cdot (\bar{d})^b \cdot \frac{1}{q}, \quad (3.13)$$

где  $f$  – коэффициент формы;  $\rho$  – плотность твердого в пробе,  $kg/m^3$ ;  $\bar{d}_3$  – средний размер зерен полезного компонента,  $m$ ;  $\bar{d}$  – средний размер кусков опробуемого

продукта, м;  $b$  – характеристика вкрапленности (для неравномерной вкрапленности  $b = 1,5$ );  $S_k^2$  – покусковая дисперсия раскрытого материала, %<sup>2</sup>.

Для бедных продуктов

$$S_k^2 = \frac{\rho_M}{\rho} \alpha \cdot \beta_M,$$

где  $\rho_M$  – плотность минерала, кг/м<sup>3</sup>;  $\beta_M$  – массовая доля компонента в минерале, %;  $\rho$  – плотность руды (породы), кг/м<sup>3</sup>;  $\alpha$  – массовая доля ценного компонента в руде, %.

Для продуктов, состоящих преимущественно из раскрытых зерен полезного минерала и пустой породы (как правило, все пыльовые продукты), случайная погрешность анализа пробы составит

$$S_\alpha^2 = 2fS_k^2 \rho (\bar{d})^3 \cdot \frac{1}{q} = 2f\alpha\beta_M \cdot \rho_M (\bar{d})^3 \cdot \frac{1}{q}. \quad (3.14)$$

В этом случае крупность кусков руды и зерен ценного компонента совпадают.

Относительная погрешность анализа  $P_\alpha$  определяется по формуле

$$P_\alpha = \frac{2S_\alpha}{\alpha} \cdot 100, \%. \quad (3.15)$$

По формуле (3.14) можно рассчитать случайные погрешности анализа пульпы, связанные с ее массой, приняв среднюю крупность анализируемой пробы  $\bar{d} = 0,1$  мм, коэффициент формы  $f = 0,4$  и массу точечной пробы 0,1 кг. Результаты расчета для медной, молибденовой и золотой руды приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Относительные погрешности отбора (анализа) точечных пыльовых проб способом продольного пересечения потока

Руда	Плотность		Массовая доля		Покусковая дисперсия	Относит. погрешность
	минерала, кг/м <sup>3</sup> ( $\rho_M$ )	породы кг/м <sup>3</sup> ( $\rho$ )	в руде ( $\alpha$ )	в минерале ( $\beta_M$ )		
Медная	4000	3000	1 %	34,6 %	46,10 % <sup>2</sup>	0,24 %
Молибденовая	5000	3000	0,02 %	59,9 %	2,00 % <sup>2</sup>	2,45 %
Золотая	18000	3000	2 г/т	10 <sup>6</sup> г/т	12 · 10 <sup>6</sup> (г/т) <sup>2</sup>	60,00 %

Если проба, отобранная способом продольного пересечения, анализируется в лаборатории, то относительные погрешности в таблице 3.12 будут погрешностями подготовки пробы до массы 0,1 кг (аналогично погрешности формирования навески для анализа).

Кусковую руду на ленточном конвейере перемешать практически невозможно. По этой причине на ленточных конвейерах пробы способом



продольного пересечения обычно не отбираются. При этом автоматический экспресс-анализ таких кусковых продуктов получает все большее распространение [27, 63, 72, 170, 171].

Характерные условия для работы автоматического экспресс-анализатора следующие:  $l = 20$  мм;  $h = 0,5$  мм;  $\vartheta = 2$  м/с;  $\tau = 90$  с;  $\rho = 0,6\rho_{\text{ТВ}}$ .

Тогда по формуле (3.12) масса точечной пробы составит  $q = 3,24$  кг.

По формуле (3.13) рассчитаны погрешности, связанные с анализом пробы массой 3,24 кг, выделенной способом продольного пересечения при средней крупности кусков руды 10 мм.

Условия расчета: руда – медная;  $\alpha = 1$  %;  $S_k^2 = 57,7$  %<sup>2</sup>;  $\bar{d}_z = 1$  мм;  $b = 1,5$ .

$$S_\alpha^2 = 2 \cdot 0,5 \cdot 57,7 \cdot 3000 \cdot (1 \cdot 10^{-3})^{3-1,5} \cdot (10 \cdot 10^{-3})^{1,5} \cdot \frac{1}{3,24} =$$

$$= 17,1 \cdot 10^{-4} \text{ \%}^2;$$

$$S_\alpha = 4,13 \cdot 10^{-2} \text{ \%}.$$

$$P_\alpha = \frac{2 \cdot 4,13 \cdot 10^{-2} \cdot 100}{1} = 8,26 \text{ \%}.$$

Результаты расчета для медной, молибденовой и золотой руды сведен в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Относительные погрешности анализа точечных проб с помощью автоматических анализаторов на конвейере

Руда	Массовая доля $\alpha$	Средняя крупность зерен $\bar{d}_z$	Относительные погрешности, %
Медная	1 %	1 мм	8,26
Молибденовая	0,02 %	1 мм	77,00
Золотая	2 г/т	0,1 мм	330,00

Так как за принятое для измерения время при анализе кусковой руды анализируется сравнительно небольшое число кусков, случайная погрешность точечной пробы оказывается большой.

Отбор или анализ пробы способом продольного пересечения осуществляется в течение некоторого времени  $\tau_a$ . Кроме этого, выполнение отбора или анализа также проходит через некоторые промежутки времени  $\tau_0$ . В итоге при использовании способа продольного пересечения за контрольный период  $T$  отбирается или анализируется конечное число точечных проб  $N_T$ :

$$N_T = \frac{T}{\tau_0}. \quad (3.16)$$

Если анализ выполняется без перерывов во времени, то

$$N_{\tau} = \frac{T}{\tau_a}. \quad (3.17)$$

При этом число точечных проб  $N_{\tau}$  может быть значительно больше, чем обычно назначаемое число точечных проб при их механизированном отборе в обычных условиях. Увеличение числа точечных проб при формировании объединенной пробы и увеличение продолжительности отбора либо анализа точечных проб требуют учета корреляции массовой доли в точечных пробах [107, 137, 172]. Так как точечные пробы распределены во времени на интервале времени между отборами соседних точечных проб  $\tau_o$ , то необходимо использование автокорреляционной функции  $R^2(\tau)$ , отражающей связь массовых долей в соседних точечных пробах [96].

Типичный вид автокорреляционной функции массовой доли ценного компонента в потоке руды и ее значения для различных интервалов времени  $\tau$  представлены на рисунке 3.5.

Значение автокорреляционной функции при  $\tau_o = 0$  равно  $S_{\tau}^2$ , то есть – обычной дисперсии точечных проб, отбираемых способом поперечного пересечения. Если же отбор или анализ продолжаются в течение определенного интервала времени  $\tau_a$ , автокорреляционная функция будет равна  $R^2(\tau_a) = S_{\tau}^2(\tau_a) < S_{\tau}^2$ . На рисунке 3.5 указано также время корреляции  $\tau_k$ , когда величину  $R^2(\tau_k)$  можно считать незначимой.

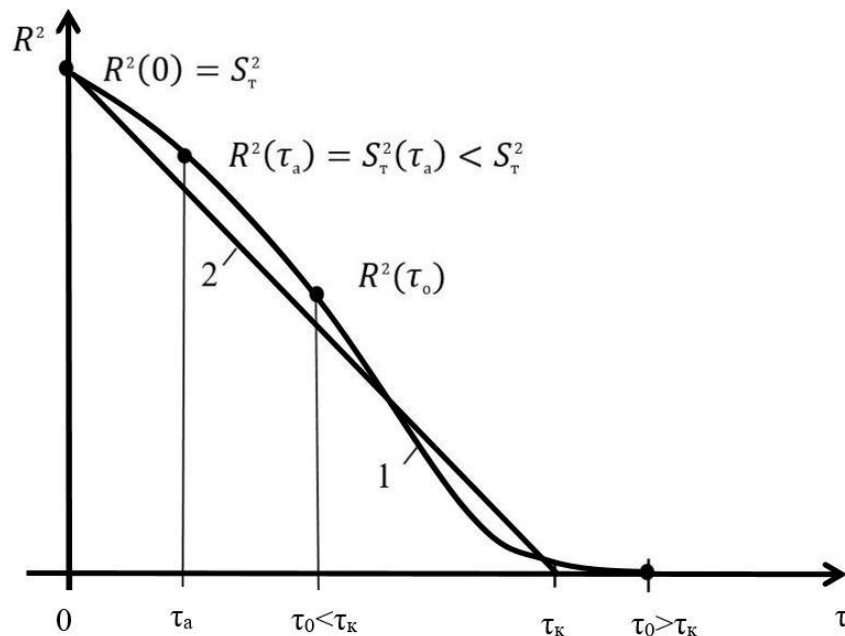


Рисунок 3.5 – Типичный вид автокорреляционной функции массовой доли компонента в потоке руды (1) и ее аппроксимация прямой линией (2)

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 [87, 107]. 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

$$p = 1 - \frac{R^2(\tau_0)}{R^2(0)}. \quad (3.18)$$

Для получения рабочей формулы числа точечных проб необходимо аппроксимировать корреляционную функцию прямой линией (рисунок 3.5). Тогда информативность одной точечной пробы при  $\tau_0 < \tau_k$  составит

$$p = \frac{\tau_0}{\tau_k}. \quad (3.19)$$

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

$$\bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i. \quad (3.20)$$

На рисунке 3.6 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.

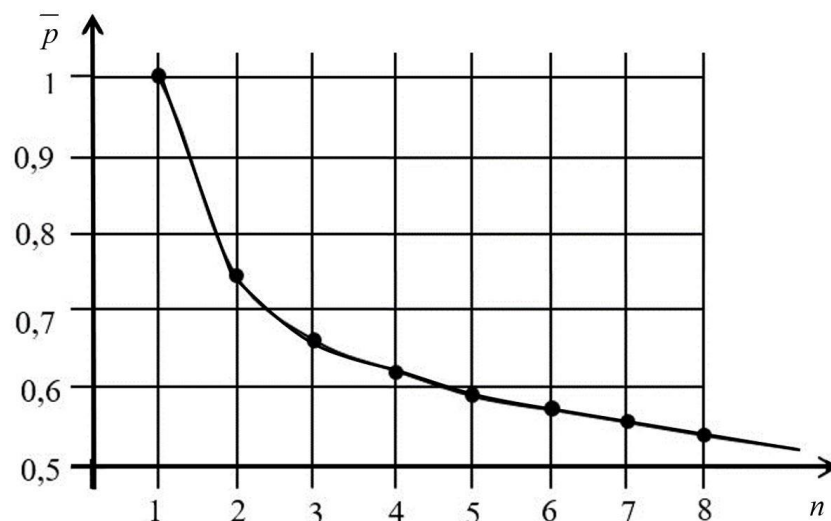


Рисунок 3.6 – Зависимость средней информативности точечных проб  $\bar{p}$  от их числа  $n$  на интервале времени корреляции  $\tau_k$

Для расчета числа точечных проб для установленного контрольного периода  $T$  обычно используется формула [15]

$$N_T = \frac{S_r^2}{S_{\text{доп}}^2}, \quad (3.21)$$

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

Изменение условий опробования, состоящее в переходе к отбору или анализу проб в течение времени  $\tau_a$ , а также в увеличении числа точечных проб  $n$ , отбираемых (анализируемых) на интервале времени корреляции  $\tau_k$ , приводит к новой формуле расчета числа точечных проб [3, 5, 6, 25, 69, 70, 77, 87, 88, 95, 104, 109, 146, 173, 174, 175, 176]

$$N_T = \frac{S_r^2(\tau_a)}{\bar{p} \cdot S_{\text{доп}}^2} \approx \frac{2S_r^2(\tau_a)}{S_{\text{доп}}^2}. \quad (3.22)$$

Отличие этой формулы от используемой во многих действующих документах формулы (3.21) – использование дисперсии точечных проб, полученной с учетом интервала времени отбора или анализа  $\tau_a$ , и средней информативности точечных проб  $\bar{p}$ .

На обогатительных фабриках величина  $\tau_0$  обычно назначается исходя из технических возможностей применяемого оборудования [2, 19, 43, 60, 63, 80, 82, 84, 87, 91, 99, 106]. Так, при ручном отборе проб  $\tau_0 = 30$  минут, при использовании анализаторов АР-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 (3.22) будет состоять в расчете фактической погрешности отбора объединенной пробы

$$S_\alpha^2 = \frac{2S_r^2(\tau_a)}{N_T}. \quad (3.23)$$

Так как в настоящее время 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

$$S_\alpha^2 = \frac{2S_r^2}{N_T}. \quad (3.24)$$

Найденные по формулам (3.23) и (3.24) случайные погрешности соответствуют погрешности объединенной пробы для выбранного контрольного периода.

### 3.1.3. Случайная погрешность отбора проб от тщательно перемешанного опробуемого массива. Покусковой отбор проб

Любой опробуемый массив руд или продуктов обогащения неоднороден по двум причинам:

- отдельные куски отличаются друг от друга.
- отдельные локальные совокупности кусков отличаются друг от друга.

Эти отличия существуют всегда, и получение формулы фундаментальной погрешности опробования должно основываться на описании как отличий отдельных кусков, так и отличий их локальных совокупностей, составляющих массы точечных проб. Количественными оценками таких отличий являются дисперсии массовых долей как в отдельных кусках, так и в отдельных точечных пробах. Отличие отдельных кусков друг от друга описывается покусковой дисперсией  $S_k^2$ . Отличие точечных проб друг от друга описывается дисперсией точечных проб  $S_T^2$  [6, 7, 50, 107].

Неоднородность отдельных кусков опробуемого массива является фундаментальным свойством руд и продуктов обогащения, которое может быть описано аналитически и определено количественно.

При формировании объединенной пробы при покусковом отборе точечных проб, равномерно распределенных по опробуемому массиву, погрешность объединенной пробы составит

$$S_\alpha^2 = \frac{S_k^2}{N_T} = \frac{S_T^2}{N_T} . \quad (3.25)$$

При «идеальном» перемешивании можно отобрать точечную пробу, содержащую  $n_T = N_T$  кусков, с такой же погрешностью:

$$S_\alpha^2 = \frac{S_k^2}{n_T} . \quad (3.26)$$

В этом случае выполняется условие  $S_T^2 = S_k^2$ , и погрешность отбора определяется числом точечных проб  $N_T$ . Условия вывода формулы совпадают с FSE [113, 114, 117, 118, 121].

Это означает, что даже при «идеальном» перемешивании отобранные пробы, содержащие одинаковое число кусков  $n_T$ , будут отличаться друг от друга, так как  $S_\alpha^2 > 0$ .

При наличии формулы покусковой дисперсии допускается ввести понятие покускового коэффициента вариации  $V_k$ :

$$V_k = \frac{S_k}{\alpha} \cdot 100 = \sqrt{\frac{\rho_M \cdot \beta_M}{\rho_\Pi \cdot \alpha}} \cdot 100 \% . \quad (3.27)$$

Первичной величиной при отборе проб, выбираемой в зависимости от параметров используемого для отбора точечной пробы инструмента, является масса точечной пробы  $q_T$ .

Так как инструментов и способов отбора точечных проб по одному куску практически не существует, то покусковой отбор проб и покусковая дисперсия являются необходимыми, но теоретическими понятиями, а минимальная масса при покусковом отборе – предельно достижимой минимальной массой точечной пробы при опробовании.

Отличие точечных проб друг от друга предопределяется двумя причинами:

- ограниченностью массы точечной пробы и, следовательно, конечностью величины  $n_T$  в формуле (3.26);

- неидеальностью перемешанности опробуемого массива, что приводит к тому, что формулу (3.26) следует записать, как

$$S_{\alpha}^2 = \frac{S_k^2 - S_T^2}{n_T} + S_T^2. \quad (3.28)$$

Формула (3.28) показывает, что увеличением числа кусков  $n_T$  в точечной пробе можно снизить дисперсию только до определенного предела, а именно, до величины  $S_T^2$ .

Дисперсия точечных проб является характеристикой опробуемого массива в целом, и определяется только экспериментально. Для контрольного периода  $T$  или массы  $M$  следует отобрать 50 точечных проб по ГОСТ 14180-80 [3, 6, 15] и по результатам их анализа определить коэффициент вариации и дисперсию точечных проб.

Снизить величину  $S_{\alpha}^2$  до требуемой (допустимой) величины можно только путем формирования объединенной пробы из  $N_T$  точечных проб, расширив понятие фундаментальности погрешности отбора на объединенную пробу.

В итоге фундаментальная погрешность предопределяется различием как кусков ( $S_k^2$ ), так и точечных проб ( $S_T^2$ ):

$$S_{\alpha}^2 = \frac{1}{N_T} \left( \frac{S_k^2 - S_T^2}{n_T} + S_T^2 \right). \quad (3.29)$$

Формула (3.29) является доказательством совместимости и непротиворечивости дискретного и непрерывного отбора и является полной формулой фундаментальной погрешности опробования. По формуле (3.29) возможно определить погрешность отбора и формирования объединенной пробы, передаваемой далее на пробоподготовку и анализ. Формула (3.29) объединяет покусковой (discrete) и массовый (continual) отбор проб.

Полная формула фундаментальной погрешности отбора не только отражает связь покускового и массового отбора точечных проб, но и показывает

ограниченность возможностей покускового отбора при существенной группировке зерен полезного компонента в опробуемом массиве. Так, если  $S_T^2 = S_K^2$  достижение необходимой величины результата опробования  $S_\alpha^2$  возможно только с помощью массового отбора точечными пробами.

Так как интенсивным (идеальным) перемешиванием опробуемого массива можно добиться условия  $S_T^2 \cong 0$ , то можно отобрать одну точечную пробу как объединенную из  $n_T$  кусков. В этом случае дискретный отбор проб является частным случаем непрерывного отбора.

Тогда относительная погрешность отбора объединенной пробы, состоящей из  $n_T$  точечных проб-кусков, составит

$$S_\alpha^2 = \frac{S_\alpha^2}{n_T}. \quad (3.30)$$

Такая погрешность отбора объединенной пробы будет наименьшей из всех возможных погрешностей.

В теории П. Жи [113, 114] формула фундаментальной погрешности отбора описывает именно такой частный случай покускового (discrete) отбора проб, в котором дисперсия точечных проб переходит в покусковую дисперсию, а число точечных проб равно числу кусков в отобранной пробе. Тогда вместо полной формулы (3.29) используется формула частного случая (3.30).

Величины  $S_K^2$  и  $n_T$  определяются по формулам

$$S_K^2 = \frac{\rho_M}{\rho_P} \alpha \beta_M; \quad (3.31)$$

$$n_T = \frac{q}{f \rho d^3}, \quad (3.32)$$

где  $\alpha$  и  $\beta_M$  – массовая доля определяемого компонента в руде и минерале;  $\rho_M$  – плотность зерен минерала;  $q$  – масса пробы;  $d$  – размер кусков в пробе;  $\rho$  – плотность пробы,  $\rho = \rho_P$ ;  $f$  – коэффициент формы.

В итоге, с учетом интегрирования по гранулометрическому составу (коэффициент 0,25), будет получена формула погрешности отбора проб

$$S_\alpha^2 = 0,25 f \alpha \beta_M \rho_M d^3 / q. \quad (3.33)$$

Полная формула фундаментальной погрешности отбора проб не только объединяет покусковой и массовый (точечными пробами массой  $q_T$ ) отбор точечной пробы, но и позволяет раскрыть закономерности изменения минимальной массы с изменением параметров отбора.

Минимальная масса объединенной пробы:

$$q = q_T \cdot N_T = q_T \cdot \frac{S_\alpha^2}{S_{\text{доп}}^2}, \quad (3.34)$$

где  $q_T$  – масса точечной пробы;  $N_T$  – число точечных проб;  $S_\alpha$  – погрешность отбора пробы по формуле (3.33);  $S_{\text{доп}}$  – допустимая погрешность отбора (задается).

После подставления  $N_T$  из формулы (3.32), при условии, что  $S_\alpha^2 = S_{\text{доп}}^2$ , получается формула

$$q = q_T \cdot \frac{\left( S_T^2 + \frac{S_K^2 - S_T^2}{n_T} \right)}{S_{\text{доп}}^2}. \quad (3.35)$$

Масса куска  $q_K = q_T/n_T$ .

Тогда

$$q = q_K \cdot \frac{S_K^2}{S_{\text{доп}}^2} + (q_T - q_K) \cdot \frac{S_T^2}{S_{\text{доп}}^2}. \quad (3.36)$$

Первое слагаемое формулы (3.36) соответствует массе пробы при учете только покусковой дисперсии. Такая масса может быть получена в условиях тщательного перемешивания опробуемого массива 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

$$q = q_0 + \Delta q. \quad (3.37)$$

Отсюда следует, что при отборе точечных проб, содержащих более одного куска опробуемого продукта, минимальная масса, по сравнению с опорной, увеличивается на величину  $\Delta q$ . Это увеличение зависит от массы точечной пробы  $q_T$  и дисперсии точечных проб  $S_T^2$ . Так как обычно  $q_T \gg q_K$  то увеличение  $\Delta q$  будет составлять

$$\Delta q = q_T \cdot \frac{S_T^2}{S_{\text{доп}}^2}. \quad (3.38)$$

Минимальная масса пробы при дискретном отборе  $q_0$  ( $q_T = q_K$ ) предопределяется покусковой дисперсией, допустимой погрешностью и числом



кусков, отбираемых в пробу. Минимальная масса пробы при непрерывном отборе увеличивается на величину  $\Delta q$ , зависящую от дисперсии точечных проб и массы точечной пробы.

В случае, если в точечную пробу может быть отобрана часть куска ( $\Delta q_k$ ) [177, 178, 179]:

$$q = \frac{S_k^2}{S_{\alpha_{\text{доп}}}^2} \Delta q_k = N_T \cdot \Delta q_k = \Delta q_0. \quad (3.39)$$

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

Число точечных проб в  $N_T$  в этом случае предопределяется покусковой дисперсией и будет очень большим.

Для оценки соотношения  $q_0$ ,  $\Delta q$  и  $\Delta q_0$  рассмотрен пример с мелкодробленной медной рудой.

Исходные данные для расчета:

$$d_{\text{max}} = 15 \text{ мм}; d_3 = 1,2 \text{ мм}; b = 1,5; \alpha = 0,8 \text{ \%}; \beta_M = 34,6 \text{ \%}; \rho_M = 4 \text{ 100 кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{п}} = 3 \text{ 000 кг/м}^3; f = 0,4; P_{\text{доп}} = 3,5 \text{ \%}.$$

Покусковая дисперсия

$$S_k^2 = S_{\text{ко}}^2 \cdot \left(\frac{d_3}{d}\right)^{3-b} = \frac{\rho_M}{\rho_{\text{п}}} \alpha \beta_M \left(\frac{d_3}{d}\right)^{3-b} = \frac{4100}{3000} \cdot 0,8 \cdot 34,6 \left(\frac{1,2}{15}\right)^{3-1,5} = 0,86 \text{ \%}^2.$$

где  $d$  – крупность опробуемой руды;  $d_3$  – размер зерен медных минералов;  $b$  – показатель вкрапленности (неоднородная вкрапленность);  $\alpha$  – массовая доля меди в руде;  $\beta_M$  – массовая доля меди в медном минерале (халькопирит);  $\rho_M$  – плотность медного минерала;  $\rho_{\text{п}}$  – плотность породы;  $f$  – коэффициент формы;  $P_{\text{доп}}$  – допустимая относительная погрешность отбора пробы;  $S_k^2$  – покусковая дисперсия сростков.

Допустимая среднеквадратичная погрешность

$$S_{\alpha_{\text{доп}}} = \frac{P_{\text{доп}} \cdot \alpha}{2 \cdot 100} = \frac{3,5 \cdot 0,8}{2 \cdot 100} = 0,014 \text{ \%}.$$

Масса куска

$$q_k = f \rho_{\text{п}} d_{\text{max}}^3 = 0,4 \cdot 3000 (15 \cdot 10^{-3})^3 = 0,004 \text{ кг}.$$

Минимальная масса при идеальном перемешивании

$$q_0 = \frac{S_k^2}{S_{\alpha_{\text{доп}}}^2} q_k = \frac{0,86}{0,014^2} \cdot 0,004 = 17,55 \text{ кг}.$$

Число точечных проб  $N_T$  при покусковом отборе, равное числу кусков в объединенной пробе, равно 4 388.

Формулу (3.29) возможно записать с использованием коэффициентов вариации

$$V_{\alpha}^2 = \frac{1}{N_T} \left( \frac{V_K^2 - V_T^2}{n_T} + V_T^2 \right). \quad (3.40)$$

Коэффициенты вариации, как относительные характеристики, позволяют выполнять сравнительные расчеты для различных условий опробования.

Так, отношения  $\frac{S_K^2}{S_{\text{доп}}^2}$  и  $\frac{S_T^2}{S_{\text{доп}}^2}$  заменяются отношениями  $\frac{4V_K^2}{P_{\text{доп}}^2}$  и  $\frac{4V_T^2}{P_{\text{доп}}^2}$ . В этих отношениях

величина  $P_{\text{доп}}$  – допустимая относительная погрешность, выражаемая в процентах.

Ниже дано сопоставление величин  $q_0$  и  $\Delta q$  при помощи формул (3.36) и (3.40), при условии  $q_T \gg q_K$ :

$$q = q_0 + \Delta q = q_K \cdot \frac{4 \cdot V_K^2}{P_{\text{доп}}^2} + q_T \cdot \frac{4 \cdot V_T^2}{P_{\text{доп}}^2}. \quad (3.41)$$

Для *медной руды* пример расчета:

$\alpha = 0,55 \%$ ;  $V_K = 927,2 \%$ ;  $V_T = 20 \%$ ;  $q_T = 0,3$  кг;  $d = 0,5$  мм;

$q_K = 256 \cdot 10^{-9}$  кг (0,256 мг);  $P_{\text{доп}} = 5 \%$ .

Тогда

$$q = q_0 + \Delta q = 256 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{4 \cdot 927,2^2}{5^2} + 0,3 \cdot \frac{4 \cdot 20^2}{5^2} = (0,035 + 19,2) \text{ кг} = 19,235 \text{ кг}.$$

Для *золотой руды* пример расчета:

$\alpha = 3,5$  г/т;  $V_K = 1,242 \cdot 10^5 \%$ ;  $V_T = 80 \%$ ;  $q_T = 0,3$  кг;  $d = 0,5$  мм;

$q_K = 256 \cdot 10^{-9}$  кг (0,256 мг);  $P_{\text{доп}} = 5 \%$ .

$$q = q_0 + \Delta q = 256 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{4 \cdot 1,242^2 \cdot 10^{10}}{5^2} + 0,3 \cdot \frac{4 \cdot 80^2}{5^2} = (632 + 307,2) \text{ кг} = 939,2 \text{ кг}.$$

Сопоставление показывает, что роль покусковой дисперсии по сравнению с дисперсией точечных проб может быть различной: от незаметной (медная руда) до преобладающей (золотая руда).

Если для отбора точечных проб применен ковшовый или лотковый пробоотбиратель, то масса точечной пробы определяется его конструкцией и рассчитывается по формуле

$$q_T = \frac{Q \cdot b}{g} = \frac{130 \text{ т/ч} \cdot 50 \text{ мм}}{0,6 \text{ м/с}} = 3 \text{ кг}.$$

где  $Q$  – производительность потока (130 т/ч);  $b$  – ширина щели пробоотбирателя (50 мм);  $g$  – скорость ковша, пересекающего поток руды ( $g = 0,6$  м/с).

Из выражения (3.37) следует вывод о неоднозначности понятия минимальной массы пробы: существует ее предельное (опорное) значение  $q_0$  и фактическое значение  $q$ , зависящее от условий отбора точечных проб. Фактическое значение минимальной массы может значительно превышать опорное.

Дисперсия точечных проб массой три килограмма определяется экспериментально и составляет  $S_T^2 = 0,01 \%^2$ . Число точечных проб

$$N_T = \frac{S_T^2}{S_{\text{доп}}^2} = \frac{0,01\%^2}{0,014^2} = 51.$$

Минимальная масса

$$q = q_0 + \Delta q = q_0 + N_T(q_T - q_K) = 17,55 + 51(3 - 0,004) = 170,3 \text{ кг.}$$

Только использование пробоотбирателя привело для одного и того же опробуемого массива к минимальной массе пробы 170,3 килограмма, что значительно превышает минимальную массу 17,55 килограмма при покусковом отборе точечных проб.

Если же в точечные пробы будет отбираться часть куска массой  $\Delta q_K = 0,000001$  килограмма, то минимальная масса объединенной пробы будет на порядки меньше. Куски такого размера (пылинки) будут раскрыты, и для них покусковая дисперсия составит

$$S_{\text{ко}}^2 = \frac{\rho_M}{\rho_{\text{п}}} \alpha \beta_M = \frac{4100}{3000} \cdot 0,8 \cdot 34,6 = 37,8\%^2.$$

Число точечных проб (пылинок) будет равно

$$N_T = \frac{S_{\text{ко}}^2}{S_{\text{доп}}^2} = \frac{37,8}{0,014^2} = 193000.$$

Минимальная масса в этом случае

$$\Delta q_0 = \frac{S_{\text{ко}}^2}{S_{\alpha_{\text{доп}}}^2} \cdot \Delta q_K = \frac{37,8\%^2}{0,014^2\%^2} \cdot 0,000001 \text{ кг} = 0,01 \text{ кг.}$$

Результаты расчета зависят от выбора числа кусков (или доли куска) отбираемых в точечную пробу – фактически, от ее массы. Масса точечной пробы может быть любой, и, как правило, зависит от выбранного инструмента для отбора пробы.

Одновременный учет как различия кусков, отбираемых в точечную пробу, так и различия точечных проб, формирующих объединенную пробу, позволяет составить

полную формулу фундаментальной погрешности отбора (3.29), объединяющую покусковой (discrete) и массовый (continuel) отбор проб и показывающую связь между этими видами отбора. Основным является массовый отбор проб, а дискретный (покусковой) отбор точечными пробами является его частным случаем, позволяющим найти опорное значение минимальной массы пробы.

Точечные пробы могут отбираться и формировать объединенную пробу, передаваемую на анализ, либо анализироваться непосредственно в опробуемом массиве при использовании автоматических анализаторов. В любом из этих случаев осуществляется массовый отбор проб или их массовый анализ непосредственно в опробуемом массиве.

Полная формула фундаментальной погрешности отбора (3.29) показывает, что фундаментальная погрешность отбора точечных проб зависит не только от свойств кусков опробуемого массива, но и от дисперсии точечных проб, и определяется их суммарным влиянием. Погрешность объединенной пробы снижается не только с увеличением массы объединенной пробы или со снижением крупности кусков, но и с увеличением числа точечных проб.

Минимальная масса объединенной пробы является функцией массы точечной пробы и при одной и той же допустимой погрешности может намного превышать опорное значение минимальной массы, возможное при покусковом отборе точечных проб.

### 3.1.4. Формула фундаментальной случайной погрешности сокращения проб. Поправочный коэффициент к формуле погрешности сокращения проб

В теории опробования центральное место занимает формула случайной погрешности сокращения проб, называемая в зарубежных источниках фундаментальной погрешностью опробования [113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121]. Формула случайной погрешности сокращения, используемая в отечественной литературе [3, 6, 7, 50, 128, 167, 168, 177], имеет следующий вид:

$$s_c^2 = 2fp(\bar{d})^3 \cdot s_k^2 \cdot \left( \frac{1}{q_{\text{кон}}} - \frac{1}{q_{\text{нач}}} \right), \quad (3.42)$$

где  $f$  – коэффициент формы зерен пробы, определяемый экспериментально (для руд равен примерно 0,4);  $\rho$  – плотность материала пробы, кг/м<sup>3</sup>;  $\bar{d}$  – средняя крупность материала пробы, мм;  $q_{\text{кон}}$  – масса пробы после сокращения, кг;  $q_{\text{нач}}$  – масса пробы до сокращения, кг;  $S_k^2 = \frac{\rho_m}{\rho_{\text{п}}} \cdot \alpha \cdot (\beta_m - \alpha)$  – покусковая дисперсия, %<sup>2</sup>;  $\rho_m$  и  $\rho_{\text{п}}$  – плотность минерала и породы, кг/м<sup>3</sup>;  $\alpha$  – массовая доля определяемого компонента в пробе, %;  $\beta_m$  – массовая доля определяемого компонента в минерале, %.

Формула (3.42) описывает теоретическую погрешность сокращения, так как предполагается, что все используемые в формуле величины найдены с достаточной точностью.

В реальных условиях необходимые величины определяются с различной точностью, а само сокращение выполняется с результатом, отличающимся от идеального. Это зависит от применяемого оборудования и инструментов, а также квалификации исполнителя.

В итоге рассчитанная по формуле (3.42) погрешность сокращения и экспериментально определяемая погрешность сокращения отличаются друг от друга. В связи с этим появляется необходимость во введении в формулу поправочного коэффициента.

На этапах подготовки и анализа работа с пробой включает в себя выполнение операций сокращения и последующего анализа.

Погрешность сокращения проб минерального сырья состоит из нескольких составляющих [114, 118]:

$$S_{\alpha}^2 = S_c^2 + S_{и}^2 + S_{л}^2 + S_{м}^2, \quad (3.43)$$

где  $S_c^2$  – погрешность, связанная с уменьшением массы материала, представляющего опробуемый массив (фундаментальная погрешность, определяемая по формуле (3.42), %<sup>2</sup>);  $S_{и}^2$  – погрешность исполнителя, работающего по одной методике на одном и том же оборудовании, %<sup>2</sup>;  $S_{л}^2$  – погрешность, связанная с использованием других методик и оборудования при выполнении сокращения, %<sup>2</sup>;  $S_{м}^2$  – погрешность метода анализа навески, получаемой в результате завершающей операции сокращения перед выполнением анализа, %<sup>2</sup>.

Погрешность по формуле (3.43) получила название погрешность воспроизводимости.

Если из формулы (3.43) исключить величину  $S_{л}^2$ , то формула будет преобразована в формулу погрешности, получившей название погрешности повторяемости

$$S_{\alpha}^2 = S_c^2 + S_{и}^2 + S_{м}^2. \quad (3.44)$$

Определение величины отдельных слагаемых в формулах (3.43) и (3.44) необходимо при составлении методик подготовки проб. Но, так как при каждом отдельном сокращении анализ сокращенной пробы не выполняется, оценить соотношение величин  $S_c^2, S_{и}^2, S_{л}^2, S_{м}^2$  невозможно.

Существует возможность и необходимость оценки указанных величин в том случае, когда анализ выполнен. Это свойственно работе аналитических лабораторий, так как при выполнении анализа в результат опробования входит

погрешность сокращения (отбора навески), включающая составляющие  $S_c^2, S_n^2$ , и погрешность метода анализа  $S_m^2$ .

Составляющие погрешности подготовки проб  $S_n^2, S_l^2$  не могут быть описаны аналитически и должны определяться экспериментально.

Действующий стандарт ГОСТ 8531-2002 [119] определяет порядок экспериментального определения так называемой «однородности» навесок, отбираемых для анализа. Согласно указанному стандарту, предлагается выполнять серию  $n_{ан}$  параллельных анализов на одной и той же навеске и находить  $S_m^2$ , затем выполнять другую серию  $n_{нав}$  анализов на разных навесках, получая  $S_\alpha^2$ , после чего рассчитывать погрешность «однородности» по формуле

$$S_{од}^2 = S_\alpha^2 - S_m^2 / n_{нав} \cdot \quad (3.45)$$

Опыт определения однородности навесок показал, что при предусмотренном стандартом числе параллельных анализов и навесок значения  $S_m^2$  и  $S_\alpha^2$  определяются со сравнительно большой погрешностью, что не позволяет найти величину  $S_{од}^2$  по формуле (3.45) с необходимой точностью. Более того, в результате расчета по формуле (3.45) зачастую получают отрицательные значения величины  $S_{од}^2$ . Это означает, что погрешности определения величины превышают саму определяемую величину, составляя более 100 % относительных. Тем не менее, данная ситуация предусмотрена стандартом, хотя в этом случае результат предопределяется погрешностями дисперсий, а не их разностью. В ряде источников [119, 120] приведены данные определения «однородности» навесок при анализе массовой доли полезных компонентов в рудах цветных металлов и золотосодержащих рудах. Результаты показали, что в половине случаев дисперсия «однородности» получалась отрицательной и, в соответствии со стандартом, принималась произвольной (по стандарту одна треть от величины  $S_\alpha^2$ ).

Трудоемкую и не позволяющую получить реальную погрешность сокращения процедуру следует изменить: найти устойчивое соотношение  $S_c^2 + S_n^2$ , после чего ввести в формулу (3.42) коэффициент  $K_n$ , учитывающий это соотношение.

Тогда формула (3.44) может быть записана, как

$$S_\alpha^2 = K_n S_c^2 + S_m^2 \cdot \quad (3.46)$$

В формуле (3.46) неизвестна погрешность метода анализа  $S_m^2$ . Если использовать маркеры, вводимые в сокращаемую пробу в качестве определяемых компонентов [121], то погрешность  $S_m^2$  будет равна нулю и  $K_n$  будет определяться формулой

$$S_\alpha^2 = K_n S_c^2 \cdot \quad (3.47)$$

Использование маркеров позволяет определить  $S_c^2$  расчетом строго по известной формуле – распределению Пуассона, для чего нужно только знать ожидаемое среднее число маркеров в сокращенной пробе  $\bar{m}$ :

$$P_{m_{\text{теор}}} = \frac{\bar{m}^m}{m!} \cdot e^{-\bar{m}}, \quad (3.48)$$

где  $m$  – фактическое число маркеров в сокращенной пробе.

Дисперсия распределения Пуассона численно равна среднему числу маркеров:

$$S_{m_{\text{теор}}}^2 = S_c^2 = \bar{m}.$$

Если определяемая массовая доля маркеров  $\bar{\alpha} = \bar{m} \cdot \frac{q_1}{q_c}$ , то

$$S_{\alpha_{\text{теор}}}^2 = \left( \frac{q_1}{q_c} \right)^2 \cdot S_{m_{\text{теор}}}^2 = \left( \frac{\bar{\alpha}}{\bar{m}} \right)^2 \cdot \bar{m} = \frac{(\bar{\alpha})^2}{\bar{m}}, \quad (3.49)$$

где  $q_1$  – масса одного маркера, кг;  $q_c$  – масса сокращенной пробы, кг.

Коэффициент  $K_{\text{и}}$  может быть найден как при подсчете числа маркеров в сокращенных пробах с определением  $S_{m_{\text{эксп}}}$ , так и при определении массовых долей и расчете  $S_{\alpha_{\text{эксп}}}$ , по одной из формул (3.50) и (3.51).

Экспериментальные дисперсии при большом числе результатов возможно определить с помощью распределений по формулам

$$S_{m_{\text{эксп}}}^2 = \sum_{i=1}^k (m_i - \bar{m})^2 \cdot P_{m_i}, \quad (3.50)$$

$$S_{\alpha_{\text{эксп}}}^2 = \sum_{i=1}^k (\alpha_i - \bar{\alpha})^2 \cdot P_{\alpha_i}, \quad (3.51)$$

где  $m_i$  или  $\alpha_i$  – число маркеров или массовая доля в  $i$ -ом интервале распределения;  $\bar{m}$  и  $\bar{\alpha}$  – среднее число маркеров или средняя массовая доля;  $P_{m_i}$  и  $P_{\alpha_i}$  – доля результатов опробования, попавшая в  $i$ -ый интервал распределения, %;  $k$  – число интервалов на оси абсцисс.

Тогда величина  $K_{\text{и}}$  может быть определен также по двум формулам (3.52) и (3.53):

$$K_{\text{и}} = \frac{S_{m_{\text{эксп}}}^2}{S_{m_{\text{теор}}}^2}; \quad (3.52)$$

$$K_{\text{и}} = \frac{S_{\alpha_{\text{эксп}}}^2}{S_{\alpha_{\text{теор}}}^2} = \frac{\bar{m} \cdot S_{\alpha_{\text{эксп}}}^2}{(\bar{\alpha})^2}. \quad (3.53)$$

В государственных стандартах и рабочих методиках анализа значения погрешностей воспроизводимости  $D$  и повторяемости  $d$  имеют большой разброс, характеризуемый «неопределенностью» экспериментальных величин как средних, так и среднеквадратичных отклонений [120, 122, 123, 124].

Эта «неопределенность» для 10 – 12 лабораторий и трех параллельных опытов в каждой лаборатории равна 30 – 40 % [35].

В рекомендациях по межгосударственной стандартизации РМГ-2003 [180] указано, что отношение  $D/d$  должно быть в диапазоне 1,2 – 2,0, и при относительной погрешности в 30 – 40 % может достигать до величины 3.

В других стандартах (ГОСТ 15934.10-82. Концентраты медные. Методы определения золота и серебра; ГОСТ 15934.1-91. Концентраты медные. Методы определения меди) [181, 182] приведены значения  $D$  и  $d$ , дающие большой разброс соотношений:

- для золота – от 1,27 до 1,50;
- для серебра – от 1,10 до 1,70;
- для меди – от 1,2 до 2,0.

Средняя величина  $D/d$  по названным стандартам равна 1,46.

В формулу сокращения проб данное отношение входит во второй степени. Следовательно

$$K_n = 2,13.$$

Таким образом, коэффициент  $K_n$  для определения погрешности воспроизводимости должен быть больше двух.

В теоретической формуле погрешности сокращения проб не учитываются погрешности исполнителей, выполняющих эту технологическую операцию в условиях участков пробоподготовки обогатительных фабрик, что приводит к дополнительным погрешностям. Такие погрешности целесообразно учитывать коэффициентом  $K_n$ . Непосредственными экспериментами на пробах дробленого кварца с маркерами (стеклянными бусинками) получен коэффициент  $K_n = 1,3$  с маркерами правильной формы и постоянной массы и  $K_n = 2,0$  с маркерами из магнетита той же крупности, что и материал пробы, полностью извлекаемых из сокращенной пробы с помощью ручного магнита.

Сопоставлением допустимых погрешностей воспроизводимости и повторяемости в стандартах на анализ медных и золотосодержащих продуктов показано, что для учета качества работы различных исполнителей (лабораторий) поправочный коэффициент (в среднем равный 2,13) может увеличиваться до 3,0.

Введение в формулу погрешности сокращения коэффициентов  $K_n$  позволяет рассчитывать реальные погрешности сокращения, и на их основе оценивать получаемые результаты опробования минеральных продуктов.



## 3.2. Экспериментальные методы определения погрешностей опробования

### 3.2.1. Общие недостатки дисперсионного анализа

Экспериментальное определение случайных погрешностей опробования руд цветных металлов и их продуктов обогащения предусмотрено ГОСТ 14180-80 (приложение 3) [3, 15].

Методика определения погрешностей по указанному стандарту основана на дубликатном опробовании, когда оценка среднеквадратичного значения случайной погрешности рассчитывается по размаху параллельных анализов.

Обычно имеется возможность выполнить два или три параллельных измерения и найти величину размаха  $R_2$  (или  $R_3$ ), но среднеквадратичное отклонение  $S_\alpha$  в этом случае будет определено с большой погрешностью. Чтобы добиться определения  $S_\alpha$  с приемлемой погрешностью, предложено находить  $R_2$  (или  $R_3$ ) для большого числа  $N$  определений массовой доли на разных пробах, после чего найти среднее значение  $\bar{R}_2(N)$ :

$$\bar{R}_2(N) = \frac{\sum_i^N R_{2i}}{N},$$

затем найти  $S_\alpha$  по формуле

$$S_\alpha = \frac{\bar{R}_2(N)}{1,13}.$$

Формула закреплена в стандарте ГОСТ 11.004-74 [183] и может дать правильные оценки  $S_\alpha$  только при большом числе используемых проб  $N$ . Но на практике исполнители работ предпочитают ограничиваться небольшим значением  $N$ , обычно  $N = 10$ . Число точечных проб  $N = 10$  также закреплено в государственном стандарте ГОСТ 14180-80 [15] и ряде других документов [6, 7]. При этом предполагается, что десять значений размахов дадут в среднем правильный результат  $\bar{R}_2(10)$ .

Но размах  $R_2 = |\alpha_1 - \alpha_2|$  формируется по двум результатам измерений (анализов для массовой доли)  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , появление каждого из которых наступает с разной вероятностью. Вероятность появления конкретного значения  $R_2$  равна произведению вероятностей появления каждого из значений  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Появление размахов, содержащих  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , отстоящих от среднего арифметического на величину больше  $2S_\alpha$ , маловероятно (вероятность  $0,05 \cdot 0,05 = 0,0025$ ). Это означает, что для появления такого результата нужно найти около 400 размахов  $N \approx 400$ . Далее, так как необходимо, чтобы один из результатов был более величины  $2S_\alpha$ , а другой менее  $2S_\alpha$ , то  $N \approx 1600$  (вероятность  $0,025 \cdot 0,025 = 0,000625$ ). Для появления указанной ситуации требуется найти 1600 размахов. Поэтому найденное по размахам при малом  $N$  среднеквадратичное отклонение  $S_\alpha$  должно быть меньше истинного.

Практика применения методики экспериментального оценивания погрешности опробования продукции при контроле качества партий по содержанию металлов в соответствии со стандартом [15] приводит к выводу, что основную долю погрешности опробования вносит анализ проб.

Так, на медно-никелевой обогатительной фабрике [95] при дубликатном опробовании сливов классификаторов установлено, что погрешность химического анализа вносит основной вклад в погрешность опробования (до 80 %), в то время как отбор проб вносит вклад в погрешность опробования только на величину от 2 до 11 %. Полученные экспериментально случайные погрешности анализа на никель, медь и кобальт заметно отличаются от допускаемых методиками выполнения измерений (МВИ) погрешностей в сторону занижения (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Сравнение результатов дубликатного опробования с допустимыми погрешностями анализа по МВИ

Определяемый металл	Массовая доля, %	Экспериментально полученная случайная погрешность анализа, %	Допустимая случайная погрешность анализа по МВИ, %
Никель	0,560	7,75	12,5
Медь	0,240	9,00	12,5
Кобальт	0,023	21,70	39,1

Явно заниженными являются также и полученные погрешности пробоотбора, дополнительные причины занижения которых, в частности сильная коррелированность массовых долей в соседних пробах, рассмотрены в опубликованных ранее работах [107, 108].

В то же время, имеется опыт оценки погрешностей по значительно большему, чем рекомендовано стандартом, числу размахов. Так, при подготовке ГОСТ 14180-80 Н. В. Карпенко [7] оценила погрешности анализа по полной формуле дисперсии и по размахам для  $N = 800$  (таблица 3.8).

Из таблицы 3.8 можно видеть, что при  $N = 800$  получены близкие результаты оценок среднеквадратичных погрешностей анализа по трем металлам на двух обогатительных фабриках.

Для непосредственного сравнения расчетов по полной формуле дисперсии и по размахам выполнено 72 анализа на медь одной и той же пробы на рентгеновском флуоресцентном анализаторе. Среднее значение массовой доли меди составило  $\bar{\alpha} = 2,8$  %. Среднеквадратичное отклонение, найденное по формуле дисперсии, равнялось  $S_{\alpha} = 0,044$  %. Среднеквадратичное отклонение, найденное по размахам 72 анализов, составило 0,045 %. Величина размаха  $R_{72} = 0,18$  %.

По этим же результатам анализа найдено 36 дубликатных размахов  $R_2$ . Средний размах  $\bar{R}_2(36) = 0,033$  %, а среднеквадратичное отклонение, найденное по указанной выше формуле, оказалось равным 0,0297 %, т. е. – заниженным на 32 % относительных.

Таблица 3.8 – Результаты определения среднеквадратичных погрешностей анализа по полной формуле дисперсии анализа при 800 размахам

Продукт и определяемый в нем металл	$S_{ан}$ , % по дисперсионному анализу		$S_{ан}$ , % по размахам	
	фабрика 1	фабрика 2	фабрика 1	фабрика 2
<i>Pb</i> концентрат				
Свинец	0,20	0,32	0,18	0,28
Цинк	1,14	0,62	1,14	0,60
Медь	0,83	2,20	0,80	1,88
<i>Zn</i> концентрат				
Цинк	0,26	0,21	0,21	0,23
Свинец	2,00	1,91	1,75	2,10
Медь	3,36	3,01	3,40	3,57

В промышленных условиях выполнен дубликатный анализ 304 проб ( $N = 304$ ). На каждой пробе выполнено по два ( $n = 2$ ) параллельных анализа на медь спектральным методом. В условиях действующего производства выполняется тщательная подготовка параллельных проб. Пробы доизмельчаются, навески прессуются в строго контролируемых условиях. При выполнении рентгеноспектрального анализа использован способ стандарта-фона. В этом случае определяется отношение интенсивности флуоресцентного излучения аналитической линии к интенсивности некогерентно рассеянного пробой излучения анода рентгеновской трубки. Для градуировки использован массив стандартных образцов. Коррекция аппаратного дрейфа в процессе анализа проводится при помощи двух реперных образцов. Контроль стабильности условий выполнения анализа выполнялся с помощью контрольных образцов. Среднее значение массовой доли по результатам анализа составило  $\bar{\alpha} = 3,03$  %. На рисунке 3.7 приведено распределение 304 размахов  $R_2$ . Оно также асимметрично. Большие размахи появляются крайне редко: средний размах составляет  $\bar{R}_2(304) = 0,035$  % при среднеквадратичном отклонении  $S_{\alpha} = 0,031$  %.

Так как число размахов (304) близко к достаточно большому, можно предположить, что получено правильное значение среднеквадратичного отклонения.

Имеющийся массив данных позволяет найти распределение средних размахов для различных  $N$  количеств проб. Помимо  $R_2$  (рисунок 2), найдены распределения  $\bar{R}_2(N)$  для  $N = 3, 5, 10, 20, 40$ . Величину  $\bar{R}_2(304)$  для  $N = 304$  допустимо считать истинным и равным числу 0,035 %. Средние размахи  $\bar{R}_2(3)$ ;  $\bar{R}_2(5)$ ;  $\bar{R}_2(10)$ ;  $\bar{R}_2(20)$ ;  $\bar{R}_2(40)$ , так же, как и  $R_2$ , распределены асимметрично. При этом отмечено, что диапазон изменений средних размахов с увеличением усредняемых  $N$  снижается.

Для экспериментального определения случайных погрешностей необходимо использовать гораздо большее число результатов опробования, чем их количество, которое рекомендовано ГОСТ 14180-80 [15].

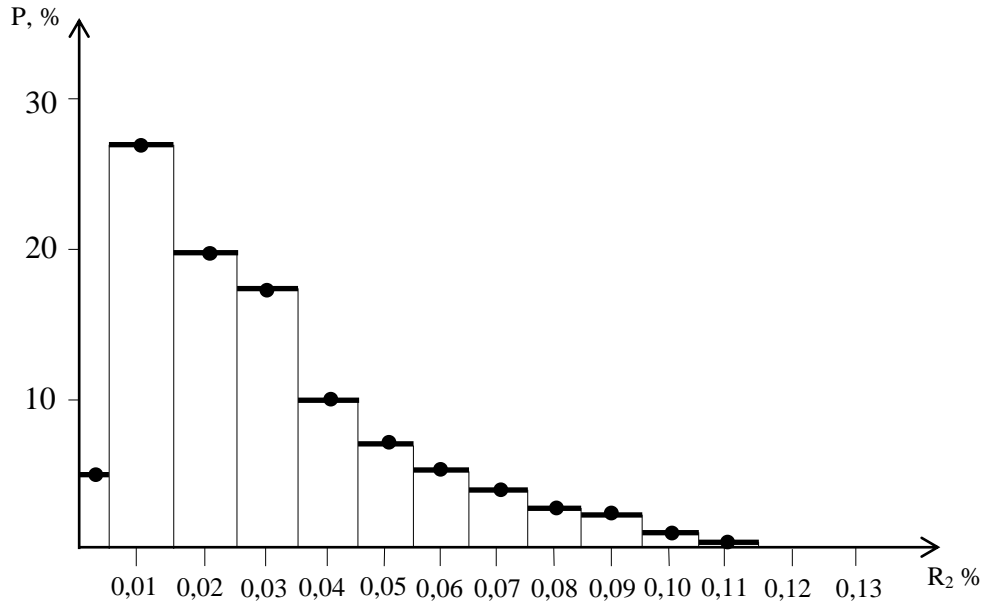


Рисунок 3.7 – Распределение размахов  $R_2$  при 304 определениях

Это возможно, прежде всего, при определении погрешностей анализа, так как анализ проб продуктов обогатительных фабрик в лабораториях выполняется на двух или трех навесках, т. е. – в текущем рабочем режиме на предприятиях получается большое число дубликатных результатов анализа. Эти результаты следует использовать для расчета случайных погрешностей анализа.

### 3.2.2. Рациональная методика определения случайных погрешностей опробования

Случайные погрешности при отборе проб, их подготовке и выполнении анализов массовой доли компонентов неизбежны [184, 185, 186, 187]. Поэтому в действующем стандарте на опробование ГОСТ 14180-80 [15] предусмотрено выполнение специальных экспериментальных работ по определению дисперсий погрешностей анализа и опробования (отбора и подготовки проб). Расчет дисперсий основан на получении усредненных значений разности двух параллельных результатов анализов и опробований.

Погрешность опробования партии предлагается определять по следующему алгоритму:

1. Отобрать с помощью точечных проб объединенные пробы А и Б по схеме на рисунке 3.8. Найти разность

$$\Delta\alpha = |\alpha_A - \alpha_B|.$$

где  $\alpha_A$  и  $\alpha_B$  – массовые доли определяемых компонентов в пробах А и Б.

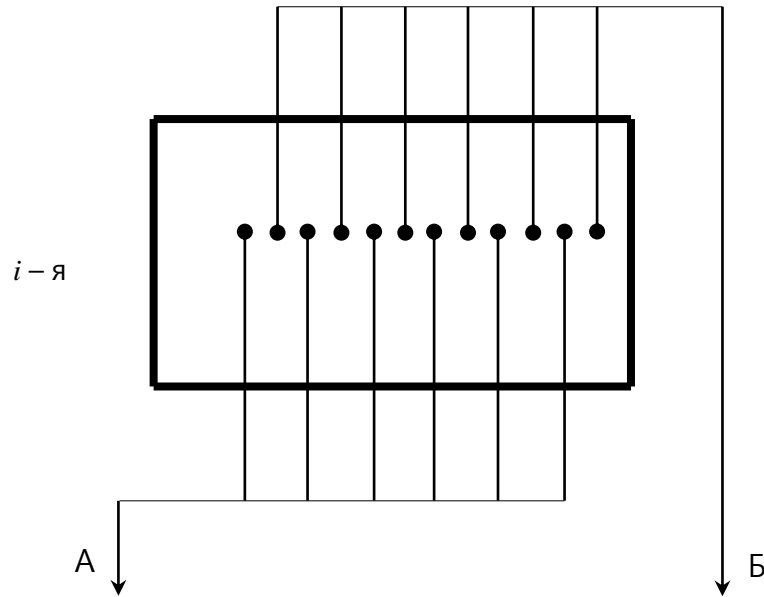


Рисунок 3.8 – Схема отбора объединенных проб А и Б по ГОСТ 14180-80

2. При выполнении такой работы  $k$  раз (на  $k$  партиях, причем  $k = 10$ ) найти средний результат

$$\overline{\Delta\alpha} = \frac{\sum_i \Delta\alpha_i}{k}$$

и случайную погрешность результата опробования  $k$  партий

$$S_{\text{рез}} = \frac{\overline{\Delta\alpha}}{1,13}.$$

В формуле коэффициент «1,13» в знаменателе дроби является статистическим коэффициентом, связывающим размах величины со среднеквадратичным отклонением при числе данных  $n = 2$  [7, 183].

3. Аналогично находится погрешность анализа  $S_{\text{ан}}$ , так как каждая из проб А и Б анализируется на двух навесках.

4. Случайная погрешность опробования находится по разности дисперсий

$$S_{\text{опр}}^2 = S_{\text{рез}}^2 - \frac{1}{2} S_{\text{ан}}^2.$$

Для того, чтобы пробы А и Б несли информацию о погрешности отбора, необходимо исключить корреляционную связь между соседними точечными пробами.

На обогатительных фабриках с помощью рассматриваемой процедуры определяются погрешности опробования потоков, т. е. опробуемых массивов, характеризующихся изменчивостью во времени, и для определенного контрольного периода. Контрольным периодом для потоков на обогатительных фабриках по стандарту является одна смена [3, 15]. Для потоков корреляционная связь между двумя соседними точечными пробами исчезает, если интервал времени между отбором соседних точечных проб превышает время корреляции.

Опыт использования установленного ГОСТ 14180-80 порядка выполнения работы приводит во всех случаях к одному и тому же некорректному выводу: погрешность анализа проб существенно превышает погрешности отбора проб и их подготовки [3, 6, 15, 95, 104, 155, 169]. В самом предельном случае эти погрешности оказываются сопоставимыми. Так, например, случайные погрешности отбора и подготовки проб медно-никелевых руд на медь и никель равны погрешностям анализа указанных проб. Данные обстоятельства являются одной из причин появления устоявшегося мнения о том, что погрешности результата опробования соответствуют погрешностям аттестованных методик анализа.

Отбор точечных проб, составляющих пробы А и Б, через короткие интервалы времени приводит к тому, что эти пробы становятся неинформативными (почти не отличающимися друг от друга), что не позволяет вычислить погрешность отбора проб как меру отличия пробы от ожидаемой средней массовой доли в партии (сменной переработке руды).

Для массовой доли в потоках руд время корреляции составляет 4 – 6 часов [107, 126, 137]. Это значит, что если пробы А и Б формировать по ГОСТ 14180-80 [15], то за смену можно будет отобрать только по 1 – 2 точечные пробы для каждой из объединенных проб А и Б.

Таблица 3.9 – Массовые доли меди и цинка в руде в двухчасовых пробах за сутки

Металл	Время суток, часы											
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-0
Медь, %	1,65	1,71	1,65	1,71	2,15	2,37	2,50	2,11	2,04	2,07	2,03	2,08
Цинк, %	4,29	4,15	4,54	4,24	4,30	4,32	4,75	4,94	4,88	4,94	5,14	5,14

Для получения достаточной информации и использования принятых на предприятиях интервалов отбора и анализа проб необходимо изменить схему формирования объединенных проб А и Б. Пример такого изменения показан на рисунке 3.9. Пусть на обогатительной фабрике отбираются точечные пробы и формируются объединенная проба каждые 2 часа. Тогда за сутки может быть получено шесть пар проб А и Б сдвинутых между собой на интервал времени больше времени корреляции, каждая из которых будет подготовлена для анализа и проанализирована с помощью двух параллельных навесок. Тогда по результатам всех параллельных анализов, выполняемых на любой фабрике в

обычном рабочем режиме, будут найдены погрешности результата опробования и анализа

$$S_{\text{рез}} = \frac{\overline{\Delta\alpha}_{\text{рез}}}{1,13}; \quad S_{\text{ан}} = \frac{\overline{\Delta\alpha}_{\text{ан}}}{1,13}, \quad (3.54)$$

и по результатам анализа проб А и Б

$$S_{\text{опр}} = \left[ \left( \frac{\overline{\Delta\alpha}_{\text{рез}}}{1,13} \right)^2 - \frac{1}{2} S_{\text{ан}}^2 \right]^{0,5}, \quad (3.55)$$

где  $\overline{\Delta\alpha}_{\text{ан}}$  – средний размах параллельных анализов двухчасовых проб за сутки (12 пар);  $\overline{\Delta\alpha}_{\text{рез}}$  – средний размах массовых долей в пробах А и Б за сутки (6 пар).

На обогатительной фабрике каждые два часа получают, подготавливаются к анализу и анализируются объединенные пробы на медь и цинк (таблица 3.9).

Разница в массовых долях двухчасовых проб со сдвигом на 12 часов составит, например,  $\Delta\alpha_{\text{Cu1}} = |1,65 - 2,50| = 0,85 \%$ . Все результаты расчета величины  $\Delta\alpha$  сведены в таблицу 3.10.

Таблица 3.10 – Разность массовых долей в пробах руды с разницей в 12 часов

Металл	$\Delta\alpha_1$	$\Delta\alpha_2$	$\Delta\alpha_3$	$\Delta\alpha_4$	$\Delta\alpha_5$	$\Delta\alpha_6$
Медь, %	0,85	0,4	0,39	0,36	0,12	0,29
Цинк, %	0,46	0,79	0,34	0,70	0,84	0,82

В таблице 3.11 приведен результат расчета составляющих случайной погрешности опробования руды на медь и цинк. Величина  $S_{\text{ан}}$  найдена по параллельным анализам на обогатительной фабрике.

Таблица 3.11 – Расчет среднеквадратичных отклонений результата, анализа и опробования (отбора и подготовки проб)

Металл	Результаты расчета по итогам отбора двухчасовых проб за сутки			
	$\overline{\Delta\alpha}$ , %	$S_{\text{рез}}$ , %	$S_{\text{ан}}$ , %	$S_{\text{опр}}$ , %
Cu	0,40	0,35	0,07	0,346
Zn	0,66	0,58	0,16	0,569

Из таблицы 3.11 следует, что погрешности отбора и подготовки проб ( $S_{\text{опр}}$ ) существенно превышают погрешности анализа, так как пробы А и Б, сдвинутые на интервал времени больше времени корреляции, стали информативными.

Для указанного выше примера с определением случайных погрешностей отбора и подготовки проб медно-никелевых руд прямой расчет погрешностей опробования по приведенным формулам продемонстрировал следующие результаты: по никелю доля случайной погрешности отбора и подготовки пробы составляет до 80 % погрешности результата опробования, аналогичный показатель по меди – до 75 %.

Содержание ГОСТ 14180-80 не разделяет случайные погрешности отбора и подготовки проб, называя их суммарную величину погрешностью опробования [15]. Это также снижает ценность эксперимента по ГОСТ 14180-80, так как дополнительная оценка погрешности подготовки пробы позволяет принять необходимые решения по совершенствованию всей схемы опробования.

Рациональным будет для получения всех составляющих случайной погрешности результата опробования (отбора проб, подготовки и анализа) выполнять экспериментальную работу по схеме на рисунке 3.10.

Расчетные формулы для этой схемы:

$$S_{\text{ан}} = \frac{\sum_j \sum_i \Delta \alpha_{\text{ан}ji}}{24 \cdot 1,13}; \quad (3.56)$$

$$S_{\text{под+ан}} = \frac{\sum_j \Delta \alpha_{\text{п}j}}{12 \cdot 1,13}; \quad (3.57)$$

$$S_{\text{под}} = \sqrt{S_{\text{под+ан}}^2 - \frac{1}{2} S_{\text{ан}}^2}; \quad (3.58)$$

$$S_{\text{опр}}^2 = \frac{\sum_j (\alpha_j - \bar{\alpha})^2}{12 - 1}; \quad (3.59)$$

$$S_{\text{от}} = \sqrt{S_{\text{опр}}^2 - \frac{1}{2} S_{\text{под+ан}}^2}. \quad (3.60)$$

Такая работа может быть выполнена гораздо большее число раз, чем рекомендованное в ГОСТ 14180-80 число  $k = 10$ , так как она вписывается в обычную схему опробования на обогатительной фабрике. Необходимо только делить полученную двухчасовую пробу пополам и выполнять подготовку и анализ двух проб каждые два часа.

Несмотря на вышеизложенное, существует альтернативный вариант методики определения случайных погрешностей опробования, являющийся наиболее рациональным. Такой вариант определения погрешностей опробования состоит в прямом использовании существующих данных оперативного опробования на действующей обогатительной фабрике [3, 58, 107, 108, 128].

Погрешность анализа может быть найдена по выполняемым в плановом порядке параллельным анализам по формуле

$$S_{\text{ан}} = \frac{\overline{\Delta \alpha_{\text{ан}}}}{1,13}. \quad (3.61)$$



Погрешность подготовки пробы по конкретной для фабрики схеме может быть рассчитана аналитическим путем по формуле [1]

$$S_{\text{под}}^2 = K \sum_j 2f S_{kj}^2 \rho (\bar{d}_j)^3 \cdot \left( \frac{1}{q_{\text{кон}}} - \frac{1}{q_{\text{нач}}} \right), \quad (3.62)$$

где  $S_{kj}^2$  – покусковая дисперсия для  $j$ -ой крупности пробы (стадии подготовки);  $\bar{d}_j$  – средняя крупность пробы на  $j$ -ой стадии;  $\rho$  – плотность пробы;  $f$  – коэффициент формы кусков;  $K$  – коэффициент качества подготовки пробы ( $K = 1,3 \div 2$ );  $q_{\text{кон}}$  – начальная масса пробы на  $j$ -ой стадии;  $q_{\text{нач}}$  – конечная масса пробы на  $j$ -ой стадии.

Погрешность результата опробования для суток находят по формуле

$$S_{\text{рез}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{N_{\text{сут}}} (\alpha_j - \bar{\alpha})^2}{N_{\text{сут}} - 1}, \quad (3.63)$$

где  $\alpha_j$  – массовая доля  $j$ -го результата опробования;  $N_{\text{сут}}$  – число отбираемых и анализируемых проб за сутки (часовые или двухчасовые пробы).

Погрешность отбора проб

$$S_{\text{от}}^2 = S_{\text{рез}}^2 - S_{\text{под}}^2 - \frac{1}{2} S_{\text{ан}}^2. \quad (3.64)$$

Так как потоки руд и продуктов на обогатительных фабриках имеют нестационарный характер, то следует работу по определению погрешностей выполнить для серии партий (например, в течение месяца), и использовать в дальнейшем их средние значения, либо учитывать возможные диапазоны вариации полученных дисперсий.

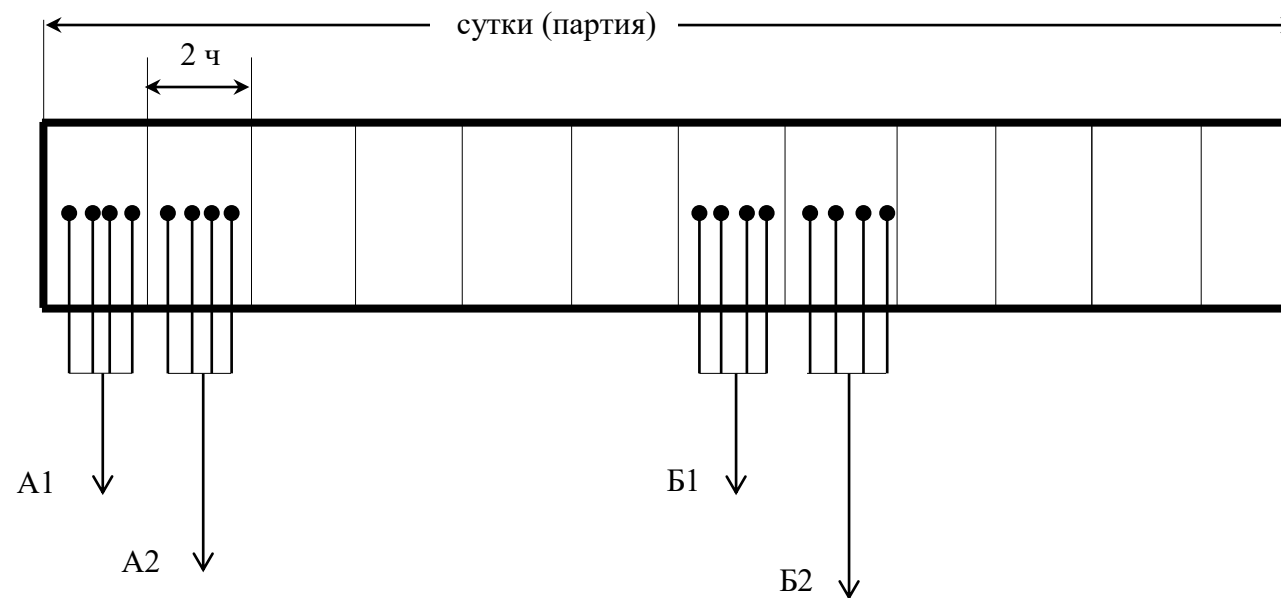


Рисунок 3.9 – Схема отбора объединенных проб А и Б с получением некоррелированных результатов опробования

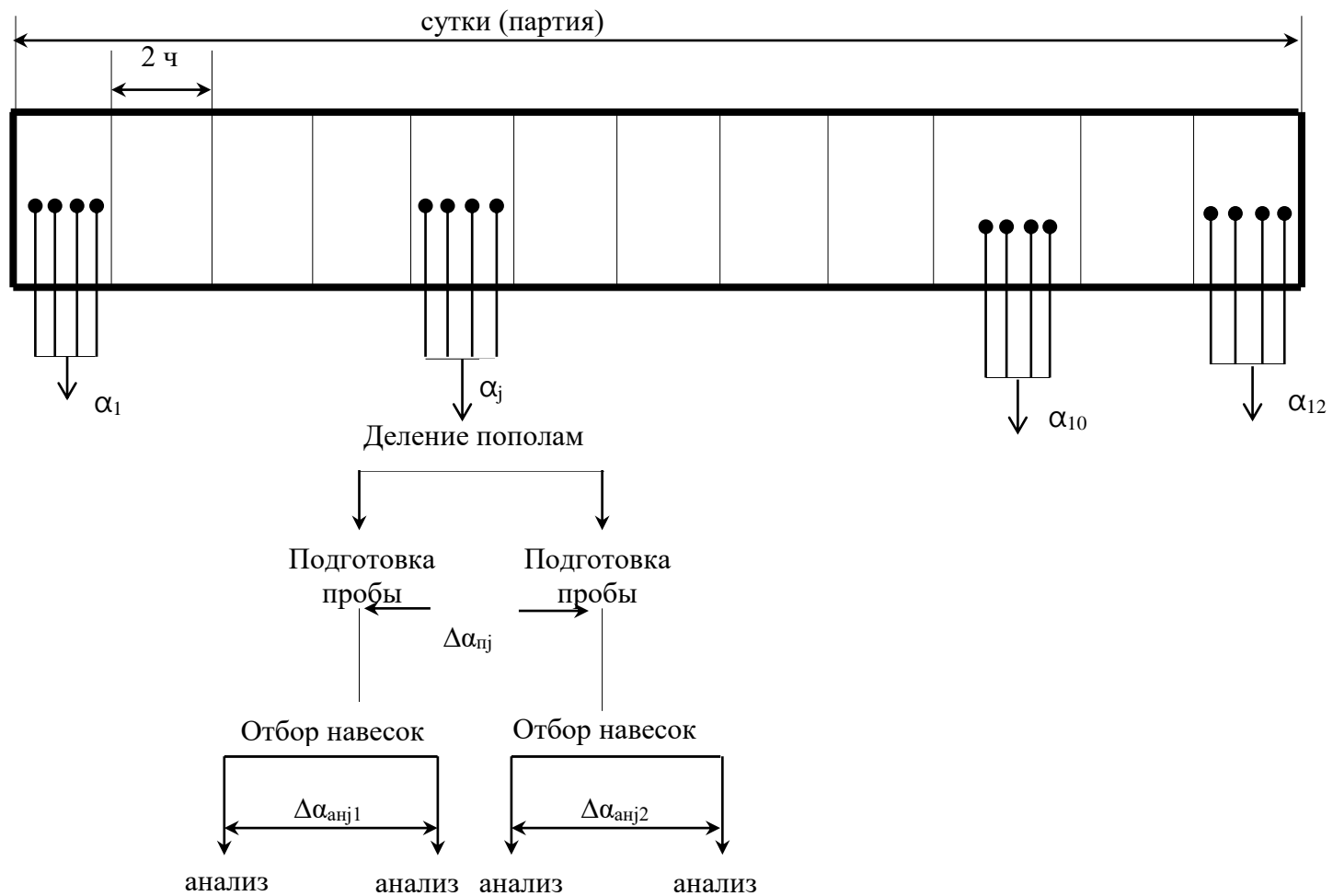


Рисунок 3.10 – Рекомендуемая схема экспериментального определения погрешностей отбора, подготовки и анализа проб

Случайная погрешность отбора двухчасовых (или часовых) проб  $S_{от}^2$  в этих условиях будет равна дисперсии точечных проб за сутки  $S_{тсут}^2$ . Расчет дисперсии точечных проб  $S_{т}^2$  целесообразен, так как эта величина характеризует неоднородность опробуемого массива и используется для расчета необходимого числа точечных проб.

### 3.2.3. Экспериментальное определение случайной погрешности опробования продуктов обогащения. Расчет и минимизация случайных погрешностей на примере медно-никелевых обогатительных фабрик

Для медно-никелевой обогатительной фабрики за партию принято количество руды, поступившее в переработку за одни сутки (три смены). На этом основании случайная погрешность рассчитана для суточных результатов опробования.

Расчетная схема системы опробования исходных руд для определения случайной погрешности опробования на ППСУ показана на рисунке 3.11.

Случайная погрешность ППСУ складывается из следующих составляющих:

- случайная погрешность отбора точечных проб при помощи ковшового пробоотборника  $S_{от}^2$ ;
- случайная погрешность сокращения с помощью секторного пробоотбирателя и гидродинамического пробосократителя до массы 0,25 кг ( $S_{c1}^2$ );
- случайная погрешность сокращения доизмельченной пробы до массы лабораторной пробы (пакета) 0,08 кг ( $S_{c2}^2$ ).

Расчет случайной погрешности ППСУ выполняется по формуле:

$$S_{ППСУ}^2 = S_{от}^2 + K[S_{c1}^2 + S_{c2}^2] = \\ = \frac{S_{т}^2}{N_{т}} + K \left[ 2fS_{к1}^2 \rho(\bar{d}_1)^3 \left( \frac{1}{q_E} \right) + 2fS_{к2}^2 \rho(\bar{d}_2)^3 \left( \frac{1}{q_{п}} - \frac{1}{q_E} \right) \right]$$

Необходимые для расчета случайной погрешности величины:

1.  $S_{т}^2$  – дисперсия точечных проб, определяемая через коэффициенты вариации

$$S_{т} = \frac{V \cdot \alpha}{100},$$

где  $V$  – коэффициент вариации массовой доли, % (установлен для смены  $V_{Ni} = 14,7\%$ ;  $V_{Cu} = 12,3\%$ ;  $V_{Co} = 9,0\%$ ).

Коэффициенты вариации позволяют определить фактические дисперсии массовой доли никеля, меди и кобальта. Для расчета использованы средние значения массовой доли названных металлов  $\alpha_{ср}$ :  $\alpha_{срNi} = 2,1\%$ ;  $\alpha_{срCu} = 3,13\%$ ;  $\alpha_{срCo} = 0,1\%$ .

Тогда погрешность массовой доли  $S_T$  за сутки будет составлять: для никеля 0,3675 %; для меди 0,4664 %; для кобальта 0,009 %.

Отсюда погрешности (дисперсии) отбора точечных проб с интервалом в четыре минуты составили: для никеля 0,00075 %<sup>2</sup>; для меди 0,00121 %<sup>2</sup>; для кобальта 0,00000045 %<sup>2</sup>.

2.  $K$  – коэффициент качества сокращения. Для выполняемых расчетов принят равным 2 [6].

3.  $f$  – коэффициент формы. Для расчетов принят равным 0,4 [6].

4.  $S_K^2$  – покусковая дисперсия, определяемая по формуле

$$S_K^2 = \frac{\rho_M}{\rho_{II}} \cdot \alpha(\beta_M - \alpha)$$

где  $\beta_M$  – массовые доли компонентов в минералах.

Массовые доли компонентов в минералах приняты для никеля 31 %, для меди 32 % и для кобальта 0,5 %.

5.  $\rho_{II}$  – плотность руды. Для расчетов принята равной 4 350 кг/м<sup>3</sup>.

6.  $\rho_M$  – плотность минерала, содержащего контролируемый металл. Плотности приняты для минералов никеля  $\rho_M = 4 800$  кг/м<sup>3</sup>, минералов меди  $\rho_M = 4 200$  кг/м<sup>3</sup>, минералов кобальта  $\rho_M = 4 650$  кг/м<sup>3</sup> (пирротин).

В итоге покусковая дисперсия составит: для никеля 66,97 %<sup>2</sup>; для меди 87,25 %<sup>2</sup>; для кобальта 0,043 %<sup>2</sup>.

Крупность зерен пентландита достигает 0,80 мм. Покусковая дисперсия для измельченных продуктов в таком случае принята, как для раскрытых продуктов:

$$\bar{d}_1 = 0,7/2 = 0,35 \text{ мм};$$

$$\bar{d}_2 = 0,08/2 = 0,04 \text{ мм},$$

где  $\bar{d}_1$  и  $\bar{d}_2$  – средние крупности на различных стадиях подготовки проб.

При заданных массах сокращенной пробы  $q_E = 0,25$  кг и лабораторной пробы (пакета)  $q_{II} = 0,08$  кг погрешность (дисперсия) получения проб может быть рассчитана.

При получении пробы на секторном пробоотбирателе и гидродинамическом пробосократителе по формуле

$$S_{cl}^2 = 2fS_K^2 \cdot \rho \cdot (\bar{d}_1)^3 \cdot \frac{1}{q_E}$$

рассчитаны следующие дисперсии:

- для никеля  $49,34 \cdot 10^{-6}$  %<sup>2</sup>;
- для меди  $64,28 \cdot 10^{-6}$  %<sup>2</sup>;
- для кобальта  $0,32 \cdot 10^{-6}$  %<sup>2</sup>;

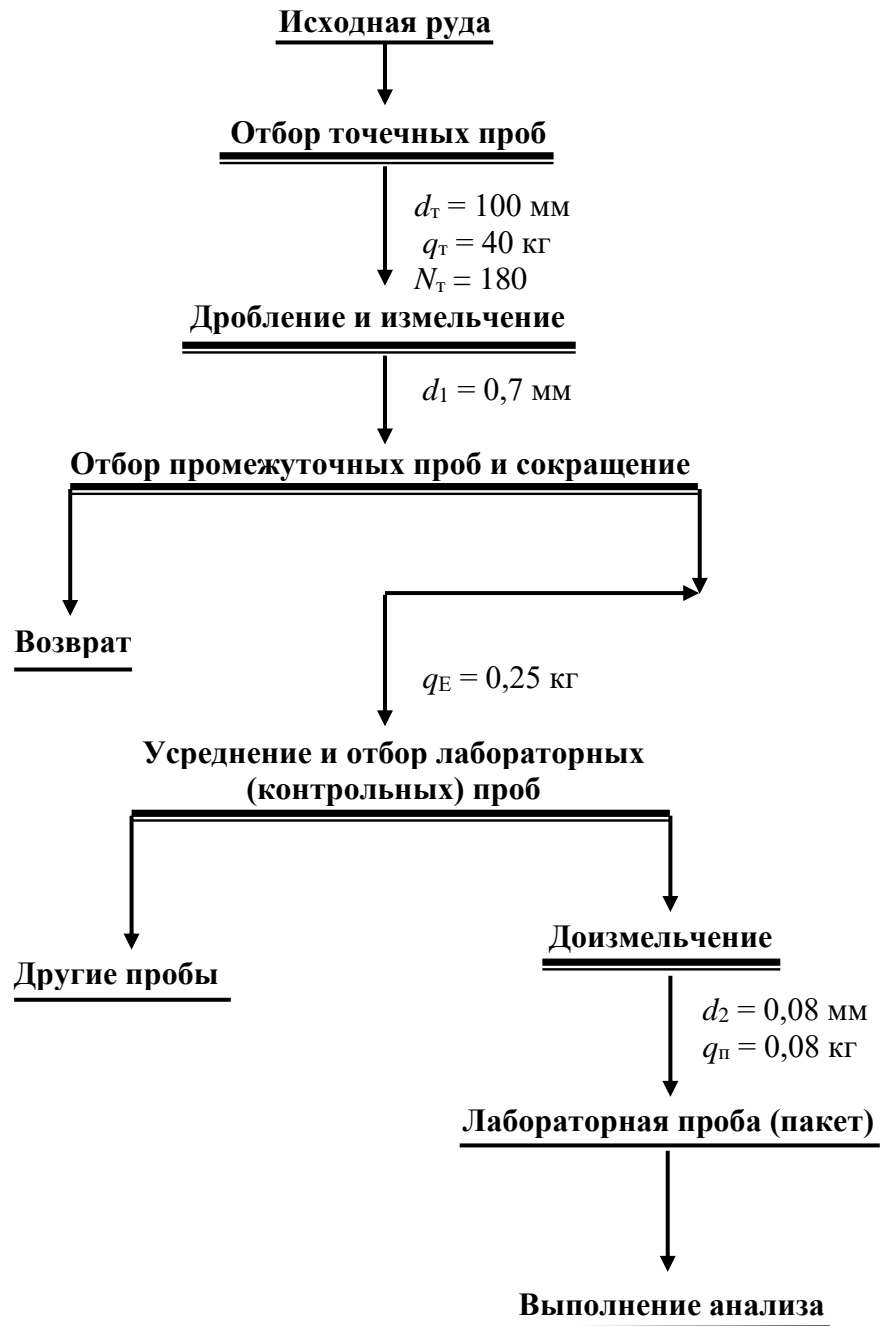


Рисунок 3.11 – Расчетная схема системы опробования исходных руд медно-никелевой обогатительной фабрики для определения случайной погрешности опробования за сутки:  
 $d_T$  – крупность точечной пробы,  $q_T$  – масса точечной пробы,  $N_T$  – число точечных проб,  
 $d_1$  – крупность измельченной пробы,  $q_E$  – масса сокращенной пробы,  
 $d_2$  – крупность лабораторной пробы после доизмельчения (конечная крупность пробы),  
 $q_{п}$  – масса лабораторной пробы (пакета)

При получении лабораторной пробы способом квадратования по формуле

$$S_{c2}^2 = 2fS_K^2 \cdot \rho \cdot (\bar{d}_2)^3 \cdot \left( \frac{1}{q_{II}} - \frac{1}{q_E} \right)$$

рассчитаны следующие дисперсии:

- для никеля  $0,16 \cdot 10^{-6} \%^2$ ;
- для меди  $0,21 \cdot 10^{-6} \%^2$ ;
- для кобальта  $0,0001 \cdot 10^{-6} \%^2$ .

Относительные случайные погрешности линии опробования найдены по формуле

$$P = \frac{2 \cdot S_{ППСУ}}{\alpha} \cdot 100 \%$$

Относительные случайные погрешности ППСУ составили за смену: для никеля 2,72 %; для меди 2,30 %; для кобальта 1,75 %.

На основании проведенного изучения случайной погрешности опробования исходных руд, можно сделать вывод о достаточно низкой величине общей случайной погрешности опробования по всем рассматриваемым металлам.

Такая величина случайных погрешностей объясняется следующими факторами:

1. Высокая периодичность отбора точечных проб от опробуемого потока крупнокусковой руды.

2. Измельчение начальной пробы до крупности минус 0,7 мм.

Измельчение всего объема начальной пробы до указанной крупности является нестандартным решением в практике опробования исходных руд после первых стадий дробления. В сочетании с высокой периодичностью отбора промежуточных проб от потока измельченной начальной пробы (пять минут, пробоотбиратель секторный) и микропорций от каждой промежуточной пробы (три секунды, гидродинамический пробосократитель), это обеспечивает случайную погрешность получения сокращенной накопленной пробы, близкую для заданных условий к минимально-возможной.

Целью оптимизации процессов опробования по случайной погрешности является ее снижение с учетом возможности практического выполнения предложенных изменений в существующих условиях.

Установлено, что в рассматриваемых условиях наибольшую долю общей случайной погрешности результата опробования (до 73,9 %) составляет погрешность отбора точечных проб от потока крупнокусковой руды. Очевидно, что снижение этой составляющей общей погрешности будет наиболее эффективным.

Снижение случайной погрешности операции отбора точечных проб возможно только за счет увеличения частоты их отбора. Исходя из технических возможностей основного оборудования действующей ППСУ, возможным

вариантом увеличения частоты отбора точечных проб могло бы быть увеличение частоты с восьми минут до 30 секунд. Случайная погрешность отбора точечных проб ( $S_{от}^2$ ) в этом случае уменьшится в 16 раз.

Наиболее рациональным вариантом изменения системы опробования медно-никелевых исходных руд по случайной погрешности является увеличение частоты отбора точечных проб от потока крупнокусковой руды в два раза. При этом частота отбора промежуточных проб секторным пробоотбирателем сохраняется на прежнем уровне: при увеличении объема измельченной начальной пробы в два раза один цикл срабатывания необходимо изменить с двух отсечек до одной отсечки. Таким образом, объем промежуточной пробы сохранится на прежнем уровне, что оставит без изменения и режим работы гидродинамического пробосократителя.

Результаты расчета системы опробования исходных руд по случайной погрешности приведены в таблице 3.12.

Оценка влияния составляющих случайной погрешности на результат опробования исходных руд приведена в таблице 3.13.

Общая случайная погрешность опробования исходных руд за месяц:

- для никеля 0,44 %;
- для меди 0,40 %;
- для кобальта 0,39.

По результатам предложенных изменений режима работы ППСУ случайная погрешность результата опробования снижена в 1,2 – 1,3 раза для никеля и меди. Для кобальта величина случайной погрешности осталась фактически на прежнем уровне (снижение в 1,05 раз). При этом наибольшее влияние на результат опробования исходных руд по никелю и меди продолжит оказывать погрешность отбора точечных проб при помощи ковшового пробоотборника. Для кобальта приоритет влияния на результат опробования сместился в сторону анализа.

Случайная погрешность анализа на рассматриваемой обогатительной фабрике установлена экспериментально.

Среднеквадратичные отклонения анализа проб на никель, медь и кобальт составили соответственно  $S_{Ni} = 0,02$  %;  $S_{Cu} = 0,03$  %;  $S_{Co} = 0,001$  %. Тогда случайная погрешность результата опробования с учетом анализа на двух параллельных навесках может быть рассчитана по формуле:

$$S_{рез}^2 = S_{ППСУ}^2 + S_{ан}^2 / 2.$$

- и составит для никеля 3,03 %;
- для меди 2,67 % и для кобальта 2,25 %.

Полученные составляющие случайных погрешностей ППСУ исходных руд и общие случайные погрешности за сутки сведены в таблицу 3.14.

Проведенный анализ случайной погрешности показывает, что наибольшее влияние на результат опробования исходных руд оказывает погрешность отбора точечных проб при помощи ковшового пробоотборника, составляющая по никелю и меди до 70 %. Также существенный вклад в суммарную погрешность



результата опробования вносит погрешность анализа – ее величина составляет более 25 %. Оценка влияния составляющих случайной погрешности на результат опробования исходных руд приведена в таблице 3.15.

Погрешность отбора точечных проб в значительной степени обусловлена изменением массовой доли контролируемых компонентов в исходных рудах, о чем свидетельствует величина коэффициентов вариации, определенных для никеля, меди и кобальта.

Доля случайной погрешности схемы подготовки проб по никелю и меди невелика, и на фоне изменения массовой доли контролируемых металлов может считаться незначимой. Причиной этому является выполнение операций отбора и сокращения проб при их малой крупности – измельчение всей суточной пробы исходной руды до 0,7 мм, а затем измельчение лабораторной пробы до 0,08 мм.

На обогатительной фабрике для исходных руд экспериментальным путем были определены случайные погрешности опробования контролируемых элементов, а также вычислены среднеквадратичные отклонения (СКО) массовой доли для операций анализа, опробования и итогового результата эксперимента (испытаний). Эксперимент был выполнен в соответствии с требованиями ГОСТ 14180-80 (Приложение 3 «Методика экспериментального оценивания погрешности опробования продукции при контроле качества партий по содержанию металлов») [15]. Результаты экспериментального определения случайных погрешностей и СКО для исходных руд по никелю, меди и кобальту приведены в таблице 3.16. В период проведения эксперимента массовая доля никеля в рудах составляла от 2,07 до 2,58 %, меди – от 3,03 до 3,89 % и кобальта – от 0,09 до 0,12 %.

Рассчитаны случайные погрешности результата опробования исходных руд, приведенные в таблице 3.17 в сравнении с результатами теоретических расчетов.

Таблица 3.12 – Результаты расчета ППСУ исходных медно-никелевых руд по случайной погрешности (случайные погрешности ППСУ за сутки)

Контролируемый компонент	Случайная погрешность по операциям $S^2$ , % <sup>2</sup>				Суммарная случайная погрешность ППСУ (с учетом $K$ ), (x 10 <sup>-6</sup> ) % <sup>2</sup>	Относительная случайная погрешность ППСУ (с учетом $K$ ), %
	отбора точечных проб $S^2_{от}$ (x 10 <sup>-6</sup> )	получения сокращенной пробы $q_E$ $S^2_{c1}$ (x 10 <sup>-6</sup> )	получения лабораторной пробы (пакета) $q_{п} S^2_{c2}$ (x 10 <sup>-6</sup> )	анализа $S^2_{ан}$ (x 10 <sup>-6</sup> )		
Никель	380,03	49,34	0,16	200,00	644,35	2,42
Медь	600,16	64,28	0,21	450,00	1133,84	2,15
Кобальт	0,23	0,32	0,0001	0,50	1,15	2,14

Таблица 3.13 – Оценка влияния составляющих случайной погрешности на результат опробования исходных медно-никелевых руд

Контролируемый компонент	Доля составляющей случайной погрешности операций в суммарной погрешности результата опробования, %		
	отбор точечных проб	подготовка пробы	анализ
Никель	59,0	9,96	31,04
Медь	52,92	7,39	39,69
Кобальт	20,00	36,52	43,48

Таблица 3.14 – Случайные погрешности ППСУ за сутки

Контролируемый компонент	Случайная погрешность по операциям $S^2$ , % <sup>2</sup>				Суммарная случайная погрешность системы опробования (с учетом $K$ ), (x 10 <sup>-6</sup> ) % <sup>2</sup>	Относительная случайная погрешность системы опробования (с учетом $K$ ), %
	отбора точечных проб $S^2_{от}$ (x 10 <sup>-6</sup> )	получения сокращенной пробы $q_E$ $S^2_{c1}$ (x 10 <sup>-6</sup> )	получения лабораторной пробы (пакета) $q_{II}$ $S^2_{c2}$ (x 10 <sup>-6</sup> )	анализа $S^2_{ан}$ (x 10 <sup>-6</sup> )		
Никель	750	49,34	0,16	200,00	1014,35	3,03
Медь	1210	64,28	0,21	450,00	1743,84	2,67
Кобальт	0,45	0,32	0,0001	0,50	1,27	2,25

Таблица 3.15 – Оценка влияния составляющих случайной погрешности на результат опробования исходных медно-никелевых руд

Контролируемый компонент	Доля составляющей случайной погрешности операций в суммарной погрешности результата опробования, %		
	отбор точечных проб	подготовка пробы	анализ
Никель	73,9	6,4	19,7
Медь	69,4	4,8	25,8
Кобальт	35,4	25,2	39,4

Как экспериментальное определение случайных погрешностей, так и их теоретический расчет связаны с допущениями и некоторой вероятностью событий. По этой причине ожидать абсолютного совпадения величины экспериментальной и теоретической погрешностей опробования нельзя. В то же время, исходя из данных таблицы 3.17, соответствие между экспериментальными и теоретическими значениями очевидно: случайные погрешности по никелю отличаются друг от друга на 10 %, по меди – на 13 % и по кобальту – на 18 %.

Таблица 3.16 – Результаты экспериментального определения случайных погрешностей опробования и СКО для исходных медно-никелевых руд

Контролируемый компонент	Случайная погрешность опробования		СКО, %		
	% абс.	% отн.	опробования	анализа	эксперимента
Никель	0,020	0,9	0,020	0,020	0,030
Медь	0,040	1,2	0,040	0,030	0,050
Кобальт	0,001	0,1	0,001	0,001	0,001

Таблица 3.17 – Сравнительные результаты определения случайных погрешностей опробования исходных медно-никелевых руд

Контролируемый компонент	Относительная случайная погрешность результата опробования, %	
	экспериментальная	теоретическая
Никель	2,73	3,03
Медь	3,10	2,67
Кобальт	2,74	2,25

Результаты опробования за контрольный период, включающий в себя несколько суток, подлежат усреднению, как накопленные, пропорционально величине этого периода. Поэтому, например, за месяц случайные погрешности опробования становятся меньше суточных в соответствии с зависимостью:

$$P_{мес} = \frac{P_{сут}}{\sqrt{30}} :$$

- для никеля 0,55 %;
- для меди 0,44 %;
- для кобальта 0,41.

Случайные погрешности накопленных результатов опробования за месяц меньше суточных в 5,5 раза. При составлении баланса металлов обогатительной

фабрики за месяц накопленные результаты будут характеризоваться именно рассчитанной величиной случайной погрешности за месяц.

### 3.2.4. Экспериментальное определение случайной погрешности опробования продуктов обогащения. Расчет и минимизация случайных погрешностей на примере золотоизвлекательных фабрик

Опробование золотосодержащих руд выполняется на одной из ЗИФ [173].

Важнейшими точками опробования технологической схемы ЗИФ являются балансовые точки, определяющие массовую долю золота во входящих и выходящих продуктах.

Одной из самых ответственных задач опробования схемы обогащения является опробование исходного сырья. Погрешность отбора пробы исходного сырья предопределяется изменчивостью массовой доли ценного компонента и числом точечных проб за смену.

На рисунке 3.12 представлено изменение массовой доли золота в исходном сырье ЗИФ по сменам за календарный месяц.

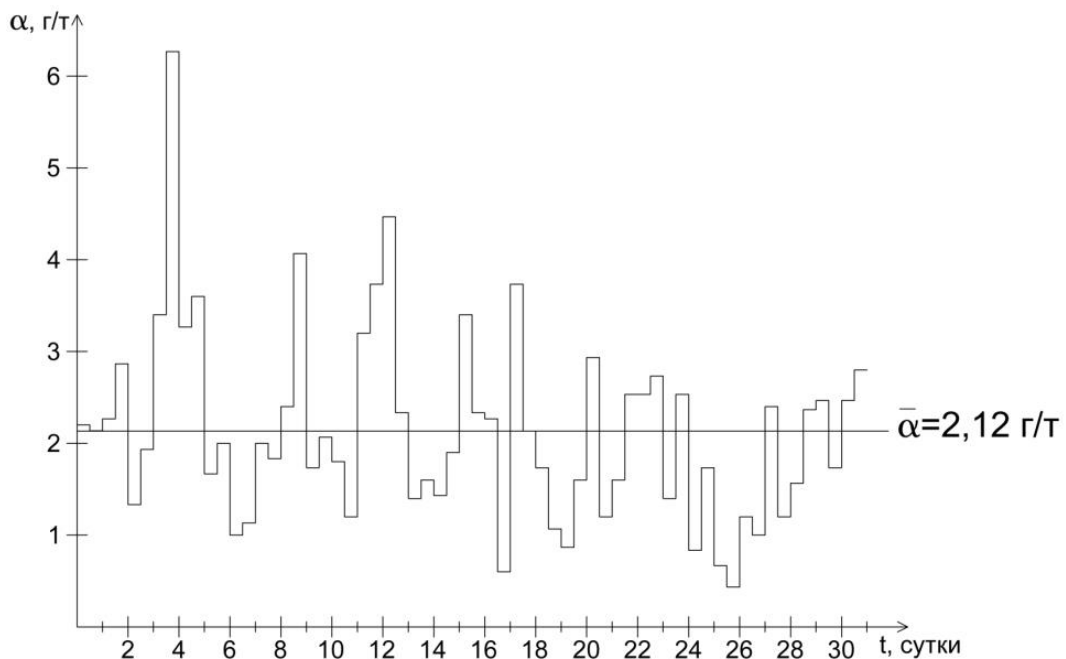


Рисунок 3.12 – Изменение сменной массовой доли золота в исходном сырье ЗИФ за календарный месяц

Сменный коэффициент вариации массовой доли золота в исходном сырье найден по размаху средних массовых долей за пять месяцев и составляет в среднем 49,6 % за месяц и 7,1 % за смену.

Погрешность отбора проб определяется по формуле

$$P_{от} = \frac{2V}{\sqrt{N_T}}$$

где  $V$  – коэффициент вариации (сменный коэффициент вариации массовой доли золота в исходном сырье 7,1 %);  $N_T$  – число точечных проб за смену (при отборе и анализе точечных проб каждые два часа  $N_T = 6$ ).

Следовательно, относительная погрешность отбора сменной пробы составит 5,8 %.

Процесс опробования исходного сырья ЗИФ состоит из следующих операций:

- от исходного сырья крупностью минус 250 мм отбирается проба массой 8 – 15 кг крупностью минус 50 мм;
- отобранная проба дробится до крупности минус 2 мм;
- дробленая проба сокращается до аналитической пробы массой 0,7 кг;
- аналитическая проба истирается до крупности минус 0,4 мм и далее до крупности минус 0,074 мм, после чего аналитическая проба может делиться на конечные пробы, поступающие на анализ.

Случайная погрешность сокращения пробы до массы 0,7 кг (подготовки пробы):

$$S_{под}^2 = 2f \cdot \rho_m \cdot \alpha \cdot \beta_m \cdot (\bar{d}_{Au\ max})^3 \cdot \frac{1}{q} = 2 \cdot 0,1 \cdot 18000 \cdot 2 \cdot 0,9 \cdot (1 \cdot 10^{-3})^3 \cdot \frac{1}{0,7} = 9,26 \text{ (г/т)}^2,$$

где  $f$  – коэффициент формы частиц золота;  $\rho_m$  – плотность частиц золота;  $\beta_m$  – массовая доля золота в частицах золота;  $\alpha$  – массовая доля золота в руде;  $\bar{d}$  – средняя крупность частиц золота;  $q$  – масса пробы после сокращения.

Случайная погрешность анализа при условии доизмельчения пробы до крупности 0,074 мм:

$$S_{ан}^2 = \frac{1}{n_{нав}} \cdot \left[ 2 \cdot f \cdot \rho_m \cdot \alpha \cdot \beta_m (\bar{d}_{Au\ max})^3 \cdot \frac{1}{q} + S_m^2 \right] = \frac{1}{2} \left[ 2 \cdot 0,05 \cdot 18000 \cdot 2 \cdot 0,9 \cdot 10^6 \cdot (0,037 \cdot 10^{-3})^3 \cdot \frac{1}{0,05} + 0,09^2 \right] = 0,00555 \text{ (г/т)}^2$$

где  $n_{нав}$  – число параллельных навесок для анализа;  $S_m$  – погрешность метода анализа (принята по методике количественного химического (пробирного) анализа).

В итоге относительная случайная погрешность сокращения пробы исходного сырья до 0,7 кг составит:

$$P_{под} = \frac{2 \cdot S_{под}}{\bar{a}} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 3,04}{2} \cdot 100 = 304 \text{ \%}.$$

Относительная случайная погрешность анализа:

$$P_{\text{ан}} = \frac{2 \cdot S_{\text{ан}}}{\bar{\alpha}} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 0,075}{2} \cdot 100 = 7,5 \%$$

Итоговая случайная погрешность процесса опробования:

$$P_{\alpha} = \sqrt{P_{\text{от}}^2 + P_{\text{под}}^2 + P_{\text{ан}}^2} = \sqrt{5,82^2 + 304^2 + 7,5^2} = 304 \%$$

Рассчитанная случайная погрешность является реально существующей на ЗИФ общей погрешностью опробования исходного сырья на золото. Основную долю общей погрешности опробования составляет погрешность подготовки пробы.

Погрешности опробования других продуктов обогащения ЗИФ значительно меньше погрешности, полученной для исходного сырья. Тем не менее, указанные погрешности могут составлять десятки процентов. Пример расчета погрешностей опробования для продуктов отделения флотации приведен ниже.

Необходимые для расчета величины следующие:

- массовая доля золота в питании 0,61 г/т;
- массовая доля золота в хвостах 0,16 г/т;
- массовая доля золота в концентрате 30,8 г/т;
- извлечение золота в концентрат и хвосты 78 % и 22 % соответственно.
- плотность минерала  $\rho_m = 18\,000 \text{ кг/м}^3$ ;
- массовая доля золота в минерале  $0,9 \cdot 10^6 \text{ г/т}$ ;
- коэффициент формы  $f = 0,1$ ;
- масса пакета (пробы) для анализа 0,1 кг;
- максимальная крупность продуктов  $d_{\text{max}} = 0,1 \text{ мм}$ .

Расчет выполняется по формуле

$$S_{\text{опр}}^2 = 2f \cdot \rho_m \cdot \alpha \cdot \beta_m \cdot \left(\frac{d_{\text{max}}}{2}\right)^3 \cdot \frac{1}{q_{\text{пак}}}$$

Для исходного питания отделения флотации:

$$S_{\text{опр}}^2 = 2 \cdot 0,1 \cdot 18000 \cdot 0,61 \cdot 0,9 \cdot 10^6 (0,05 \cdot 10^{-3})^3 / 0,1 = 0,00247 \text{ (г/т)}^2$$

$$S_{\text{опр}} = 0,0497 \text{ г/т}$$

Относительная погрешность:

$$P_{\text{опр}} = \frac{2 \cdot S_{\text{опр}}}{\alpha} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 0,0497}{0,61} \cdot 100 = 16,3 \%$$

Для хвостов флотации аналогичным расчетом определена относительная погрешность  $P_{\text{опр}} = 31,8 \%$ . Для флотационного концентрата –  $P_{\text{опр}} = 2,3 \%$ .

Оптимизация точки опробования по случайной погрешности состоит в минимизации величины случайной погрешности при допустимом усложнении технологии и технического обеспечения процесса опробования.

Так как представительное опробование исходного сырья является необходимым условием приемлемого контроля за потерями золота, предлагается рассмотреть возможные варианты опробования указанного продукта:

#### 1. Опробование исходного сырья перед первой стадией измельчения:

Исходное сырье ленточным конвейером подается в мельницу мокрого полусамоизмельчения типа «Каскад» (ММПС) в крупности минус 250 мм. Для продуктов указанной крупности не существует типовых пробоотборников, выпускаемых серийно. Существующие пробоотборники для продуктов с крупностью куска минус 250 мм представлены отдельными нестандартными экземплярами в крайне ограниченном количестве. Оптимальным вариантом пробоотборника для рассматриваемых условий является устройство секторного типа, периодически отклоняющее поток опробуемого продукта при невысокой степени сокращения. Исходя из этого, схема отбора и подготовки проб исходного сырья ЗИФ может быть следующей:

- секторный пробоотборник со степенью сокращения  $l = 4$ , производительность по начальной пробе (масса начальной пробы) 50 т/ч;

- щековая дробилка со степенью дробления  $i = 5$ , конечная крупность дробления 50 мм;

- секторный сократитель со степенью сокращения  $l = 8$ , производительность по сокращенной пробе 6,25 т/ч;

- щековая дробилка со степенью дробления  $i = 4$ , конечная крупность дробления 10 мм;

- секторный сократитель со степенью сокращения  $l = 8$ , производительность по сокращенной пробе 0,78 т/ч;

- щековая дробилка со степенью дробления  $i = 5$ , конечная крупность  $d_{\text{max}} = 2$  мм;

- секторный сократитель со степенью сокращения  $l = 8$ , производительность по сокращенной пробе 0,0975 т/ч (97,5 кг/ч).

Приведенная схема отбора и подготовки проб (или похожие на приведенную схемы) реализована на некоторых рудных обогатительных фабриках [32, 69, 71, 82, 85, 99]. Оборудование схемы располагается на 3 – 4 отметках, требуя перепада высоты не менее 20 м. Дополнительно к этому получаемая проба крупностью 2 мм и массой 97,5 кг/ч требует дальнейшей подготовки к анализу, что в свою очередь потребует дополнительного оборудования, отметок, помещений и т. п.

#### 2. Опробование исходного сырья после первой стадии на сливе ММПС:

Отбор точечных проб от потока слива ММПС выполняется в крупности  $d_{\text{max}} = 2$  мм. Для опробуемого продукта крупность частиц золота  $d_{\text{сmax}} = 2$  мм,



массовая доля золота 2 г/т, масса начальной объединенной пробы за смену 100 кг, коэффициент формы частиц золота 0,1.

Случайная погрешность отбора пробы для указанных условий:

$$\begin{aligned} S_{\text{от}}^2 &= 2f\rho_m \cdot \alpha \cdot \beta_m (\bar{d})^3 \cdot \frac{1}{q} \\ &= 2 \cdot 0,1 \cdot 18000 \cdot 2 \cdot 0,9 \cdot 10^6 \cdot (1 \cdot 10^{-3})^3 \cdot \frac{1}{100} \\ &= 0,0648 \text{ (г/т)}^2 \end{aligned}$$

$$S_{\text{от}} = 0,254 \text{ г/т.}$$

$$P_{\text{от}} = \frac{2 \cdot S_{\text{от}}}{\alpha} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 0,254}{2} \cdot 100 = 25,4 \text{ \%}$$

Последующее сокращение пробы без доизмельчения до 2 кг повышает найденную случайную погрешность до неприемлемой величины в 190 %.

Очевидно, что опробование исходного питания ЗИФ даже в минимально возможной крупности характеризуется высокой случайной погрешностью и не может, например, обеспечить условия для объективной оценки потерь золота. Поэтому опробование исходного сырья ЗИФ предлагается выполнять по схеме с доизмельчением начальной объединенной пробы.

3. Опробование исходного сырья после первой стадии на сливе ММПС с доизмельчением и обогащением начальной пробы:

Предлагаемая схема отбора и подготовки проб исходного сырья ЗИФ предполагает получение начальной объединенной пробы за смену, ее измельчение в полном объеме без предварительного сокращения и обогащения измельченной пробы (рисунок 3.13).

Расчет массовой доли золота в исходном сырье для предложенной схемы выполняется по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{m_{\text{Au}}}{q_{\text{хв}} \cdot l} + \alpha_{\text{хв}} \quad (3.65)$$

где  $m$  – масса золота в концентрате;  $q_{\text{хв}}$  – сухая масса пробы хвостов;  $l$  – степень сокращения измельченной пробы;  $\alpha_{\text{хв}}$  – массовая доля в хвостах.

Общая относительная случайная погрешность опробования с применением рекомендованной схемы за смену будет равна 12,68 %.

За месяц будет выполнено 60 таких опробований (каждая смена) и относительная случайная погрешность за месяц составит 1,65 %. Это означает, что с использованием рекомендованной схемы отбора и подготовки проб за месяц можно будет установить неучтенные потери золота, если они превысят величину 1,65 %. Так, например, если за месяц в исходном сырье поступило 200 кг золота, то можно зафиксировать неучтенные потери, если они составят более 3,3 кг.

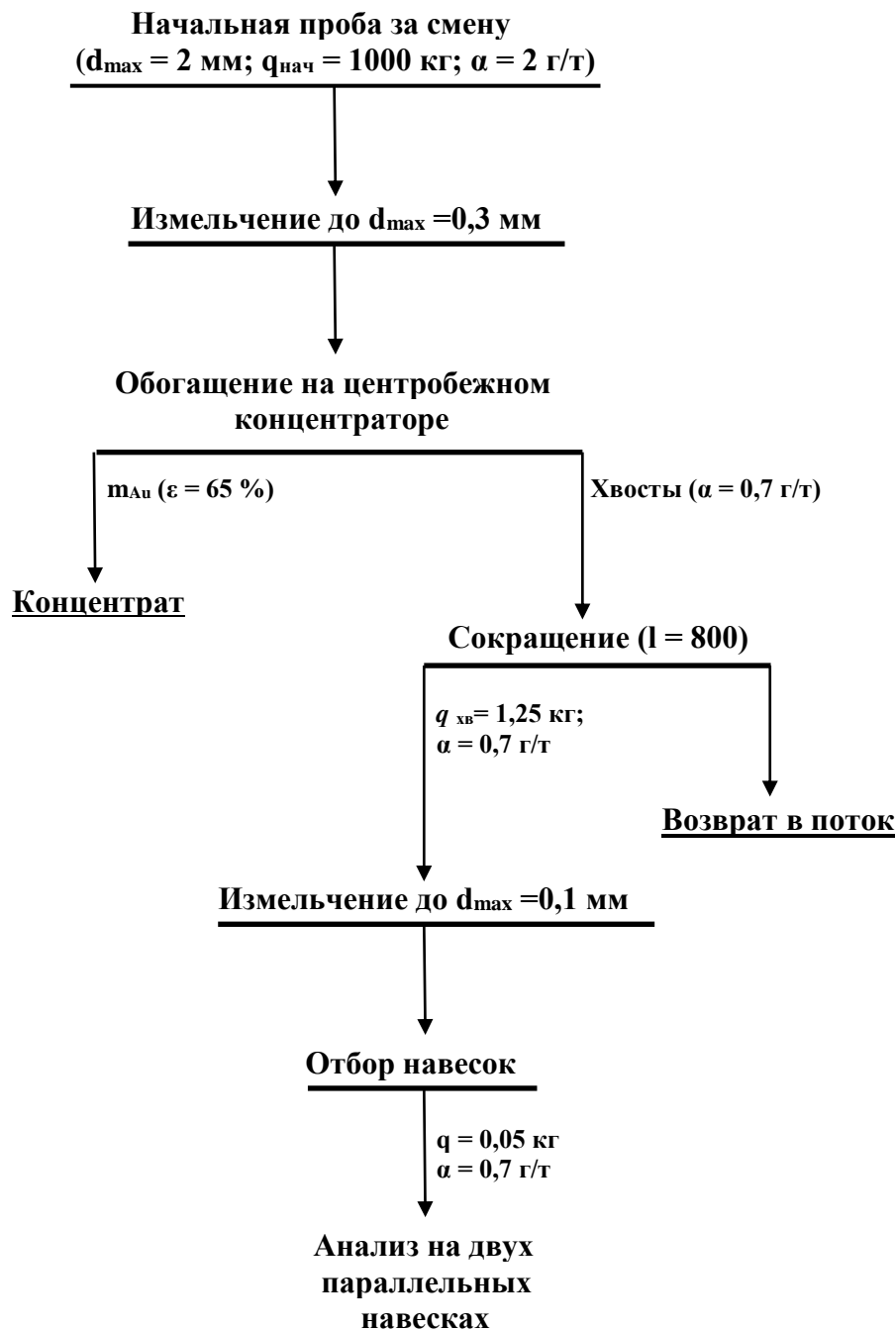


Рисунок 3.13 – Рекомендуемая схема отбора и подготовки проб исходного сырья ЗИФ с доизмельчением и обогащением начальной пробы

Невязка величиной 2 – 3 % обычно бывает рекомендована для обогатительных фабрик руд цветных металлов [6, 7, 46, 51, 52, 54, 156, 159, 172, 188]. Для золотоизвлекательных фабрик невязка указанной величины считается недостижимой [52, 156, 157, 159, 172, 188]. Применение рекомендованной схемы отбора и подготовки проб на ЗИФ дает такую возможность.

### 3.2.5. Экспериментальное определение случайной погрешности опробования продуктов обогащения. Расчет и минимизация случайных погрешностей на примере хромовых обогатительных фабрик

Ниже приведен расчет случайных погрешностей опробования продуктов обогатительной фабрики, перерабатывающей хромовые руды.

Технологическую схему хромовой обогатительной фабрики целесообразно представить в виде блок-схемы для выполнения расчетов. Расчетная схема приведена на рисунке 3.14.

Основные технологические показатели для расчета по точкам опробования приведены в таблице 3.18.

Кроме основных технологических показателей, для опробуемых продуктов приняты для выполнения расчетов следующие величины:

$d_{з\max}$  – максимальная крупность зерен хромита 3,0 мм;

$\beta_m$  – массовая доля оксида хрома в хромите 60 %;

$\rho_m$  – плотность хромита 4 500 кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_n$  – плотность вмещающей породы 3 000 кг/м<sup>3</sup>

$f$  – коэффициент формы зерен (кусков) продуктов 0,5 [6, 46, 132].

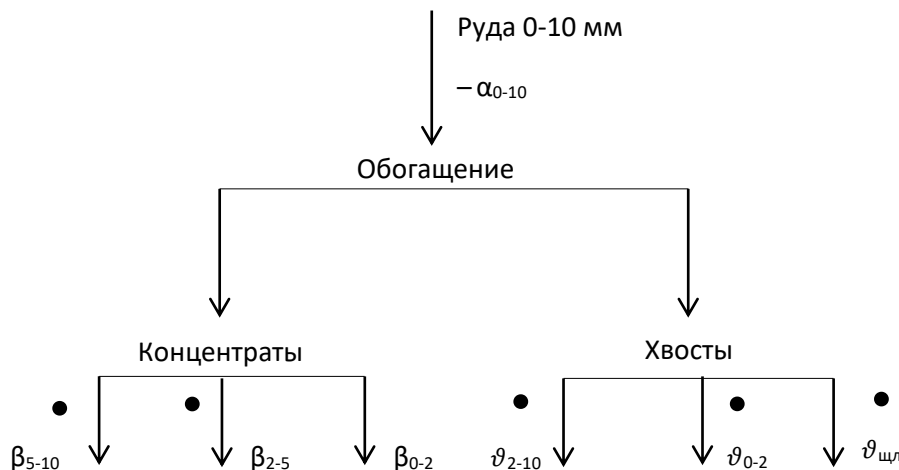


Рисунок 3.14 – Расчетная схема обогатительной фабрики

Таблица 3.18 – Основные технологические показатели для расчета случайных погрешностей по точкам опробования

Показатели	Руда $\alpha_{0-10}$	Концентраты			Хвосты		
		$\beta_{5-10}$	$\beta_{2-5}$	$\beta_{0-2}$	$\vartheta_{2-10}$	$\vartheta_{0-2}$	$\vartheta_{цп}$
Массовая доля $Cr_2O_3$ , %	40	54	50	50	10	10	30
Начальная крупность $d_{\max}$ , мм	10	10	5	2	10	2	3
Число точечных проб в смену $N_m$	4	4	4	4	4	4	4
Начальная масса сменной пробы $q_{\text{нач}}$ , кг	12,5	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

Расчет случайных погрешностей выполнен на основании формулы

$$S_{\alpha}^2 = S_{\text{от}}^2 + S_{\text{под}}^2 + S_{\text{ан}}^2.$$

где  $S_{\alpha}$  – среднеквадратичная погрешность опробования массовой доли  $\alpha$ ;  $S_{\text{от}}, S_{\text{под}}, S_{\text{ан}}$  – составляющие погрешности опробования, возникающие при отборе, подготовке и анализе проб.

По данным сменных результатов опробования продуктов обогащения найдены размахи массовых долей продуктов, а также получены дисперсии точечных проб (среднеквадратичные отклонения) за месяц и за смену случайные погрешности (дисперсии) отбора сменных проб.

Полученные результаты приведены в таблице 3.19.

Для расчета случайной погрешности подготовки пробы продуктов хромовой обогатительной фабрики следует составить расчетную схему, в которой указываются только операции дробления и сокращения, определяющие наличие и величину случайной погрешности.

В качестве примера приведен расчет погрешности подготовки пробы для исходной руды хромовой обогатительной фабрики:

$$\begin{aligned} S_{\text{под}}^2 &= 2 \left[ 2 \cdot 0,5 \cdot 116,9 \cdot 3860 \cdot (5 \cdot 10^{-3})^3 \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{12,5} \right) + \right. \\ &\quad + 2 \cdot 0,5 \cdot 711,5 \cdot 3860 (1,5 \cdot 10^{-3})^3 \left( \frac{1}{0,5} - \frac{1}{2} \right) + \\ &\quad + 2 \cdot 0,5 \cdot 711,5 \cdot 3860 (0,25 \cdot 10^{-3})^3 \left( \frac{1}{0,1} - \frac{1}{0,5} \right) + \\ &\quad \left. + 2 \cdot 0,5 \cdot 711,5 \cdot 3860 (0,08 \cdot 10^{-3})^3 \left( \frac{1}{0,05} - \frac{1}{0,1} \right) \right] = \\ &= 2[0,0237 + 0,0139 + 0,00034 + 0,000014] = 0,0759\% \end{aligned}$$

Для всех продуктов обогащения по приведенной схеме рассчитаны покусковые дисперсии  $S_K^2$ ,  $S_{K\text{ср}}^2$  и плотности  $\rho$ , дисперсии сокращения по стадиям  $S_c^2$  и дисперсии деления  $S_{\text{дел}}^2$ , а также итоговые дисперсии подготовки проб. Результаты расчета приведены в таблице 3.20.

Таблица 3.19 – Случайные погрешности отбора проб продуктов

Показатели	Руда $\alpha_{0-10}$	Концентраты			Хвосты		
		$\beta_{5-10}$	$\beta_{2-5}$	$\beta_{0-2}$	$\vartheta_{2-10}$	$\vartheta_{0-2}$	$\vartheta_{\text{шл}}$
$S_T, \%$	3,0	2,5	7,0	7,0	2,0	2,0	4,0
$S_{\text{ТСМ}}, \%$	0,32	0,26	0,74	0,74	0,21	0,21	0,42
$S_{\text{от}}^2, \%^2$	0,0256	0,0169	0,1369	0,1369	0,0110	0,0110	0,0440

Случайная погрешность анализа проб принята по допустимым отклонениям воспроизводимости  $\Delta$  согласно имеющейся методике выполнения измерений.

Результаты расчета погрешностей анализа представлены в таблице 3.21.

Таблица 3.20 – Случайные погрешности подготовки проб продуктов обогащения хромовых руд

Показатели	Руда $\alpha_{0-10}$	Концентраты			Хвосты		
		$\beta_{5-10}$	$\beta_{2-5}$	$\beta_{0-2}$	$\vartheta_{2-10}$	$\vartheta_{0-2}$	$\vartheta_{шл}$
$S_K^2, \%^2$	711,5	285,0	388,8	388,8	676,8	676,8	930,0
$S_{Kcp}^2, \%^2$	116,9	46,8	180,7	—	111,2	—	—
$\rho, \text{кг/м}^3$	3860	4250	4150	4150	3200	3200	3600
$S_{c1}^2, \%^2$	0,023700	0,021000	0,008000	—	0,019200	—	—
$S_{c2}^2, \%^2$	0,013900	0,006100	0,008100	0,002000	0,011000	0,002700	0,270000
$S_{c3}^2, \%^2$	0,000340	0,000150	0,000200	0,000200	0,000270	0,000270	0,270000
$S_{дел}^2, \%^2$	0,000014	0,000006	0,000008	0,000008	0,000011	0,000011	0,110000
$S_{под}^2, \%^2$	0,0759	0,0540	0,0326	0,0044	0,0610	0,0060	0,0060

Таблица 3.21 – Результаты расчета случайных погрешностей анализа проб продуктов обогащения хромовых руд

Показатели	Руда $\alpha_{0-10}$	Концентраты			Хвосты		
		$\beta_{5-10}$	$\beta_{2-5}$	$\beta_{0-2}$	$\vartheta_{2-10}$	$\vartheta_{0-2}$	$\vartheta_{шл}$
$\Delta, \%$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,4
$S_{ан}, \%$	0,247	0,310	0,310	0,310	0,190	0,190	0,247
$S_{ан}^2, \%^2$	0,061	0,098	0,098	0,098	0,035	0,035	0,061

Полученные результаты расчетов (таблица 3.21) позволяют найти относительные погрешности результатов опробования за смену и месяц по формуле

$$P_{\alpha} = \frac{2S_{\alpha}}{\alpha} \cdot 100, \%$$

Среднеквадратичные и относительные погрешности результата опробования продуктов обогащения приведены в таблице 3.22.

Таблица 3.22 – Среднеквадратичные  $s_{\alpha}$  и относительные погрешности  $P_{\alpha}$  результатов опробования продуктов обогащения хромовых руд для смены и месяца

Показатели	Руда $\alpha_{0-10}$	Концентраты			Хвосты		
		$\beta_{5-10}$	$\beta_{2-5}$	$\beta_{0-2}$	$\vartheta_{2-10}$	$\vartheta_{0-2}$	$\vartheta_{шл}$
$S_{от}^2, \%^2$	0,0256	0,0169	0,1369	0,1369	0,0110	0,0110	0,0440
$S_{под}^2, \%^2$	0,0759	0,0540	0,0326	0,0044	0,0610	0,0060	0,0060
$S_{ан}^2, \%^2$	0,0610	0,0980	0,0980	0,0980	0,0350	0,0350	0,0610
$S_{\alpha}^2, \%^2$	0,1627	0,1689	0,2675	0,2393	0,1070	0,0520	0,1110
$P_{\alpha см}, \%$	2,0	1,5	2,1	2,0	6,5	4,6	2,2
$P_{\alpha мес}, \%$	0,80	0,47	1,50	1,50	2,10	2,10	1,40

Случайные погрешности опробования продуктов хромовой обогатительной фабрики за месяц найдены с сохранением погрешности отбора и усреднением погрешностей подготовки и анализа по 90 сменам.

Случайные погрешности определения сменных значений качества исходной руды по  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  составляют для рассматриваемой хромовой обогатительной фабрики 2,0 %. Величина случайных погрешностей предопределяет, в первую очередь, величину относительной невязки товарного баланса [46, 157]. По этой причине случайные погрешности результата опробования подлежат максимально возможному снижению.

Целью улучшения процессов опробования по случайной погрешности является ее снижение с учетом возможности практического выполнения предложенных изменений в существующих условиях.

Структура случайных погрешностей результата опробования исходной хромовой руды показывает, что основное влияние на их величину оказывают операции подготовки проб и анализа проб (47 и 37 % от величины общей погрешности соответственно). Из всех существующих операций подготовки проб на обогатительной фабрике основную долю случайной погрешности формирует операция первого сокращения пробы крупностью минус 10 мм с 12,5 кг до 2,0 кг. Также значительную долю погрешности вносит погрешность анализа.

Для снижения негативного влияния операций сокращения проб возможно рекомендовать исключить из схемы подготовки проб операцию сокращения пробы крупностью минус 10 мм до массы 2 кг, саму же пробу дробить в полном объеме до крупности минус 3 мм. Для этого пробу необходимо пропускать последовательно через две дробилки, которые следует разместить каскадом, чтобы дробление проводилось в одну операцию. С учетом предложенных изменений погрешность подготовки пробы для исходной хромовой руды за смену будет меньше существующей для обогатительной фабрики в 2,1 раза.

Случайные погрешности опробования сухих хвостов обогатительной фабрики незначительно влияют на невязку товарного баланса в связи с малым значением извлечения  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в эти хвосты. Поэтому изменение технологии опробования сухих хвостов следует рассматривать только с позиции снижения трудозатрат и повышения технологических показателей обогатительной фабрики.

### 3.3. Применение формулы минимальной массы пробы Ричардса-Чечотта

В практике опробования более 100 лет применяется известная формула минимальной массы пробы Ричардса-Чечотта:

$$q(\text{кг}) = k \cdot d_{\text{max}}^2 (\text{мм}). \quad (3.66)$$

В работе Ричардса [112] значения коэффициента  $k$  предлагалось выбирать в диапазоне 0,2 – 31,0. Для бедных или однородных руд этот диапазон составлял 0,2 – 0,7; для средних по массовой доле руд 1,5 – 3,5 и для богатых и

неоднородных руд 9,0 – 31,0. В последующем Чечотт Г. О. [189] несколько сузил этот диапазон до 0,16 – 24,0; причем для бедных руд с равномерным оруденением и мелкой вкрапленностью  $k = 0,16 – 1,5$ ; для средних по массовой доле руд и средней и крупной вкрапленности  $k = 1,5 – 6,0$ ; для богатых руд, с неравномерным оруденением и крупной вкрапленностью  $k = 6,0 – 24,0$ .

Как видно, отнесение руды к какому – либо типу выполняется на основе субъективных оценок. Для вольфрамовых руд с массовой долей  $WO_3$  1 – 2 % предлагалось  $k = 10$ ; для золотосодержащих руд  $k = 6 – 15$ ; для медных и свинцовых сульфидных руд  $k = 1,5 – 3,0$ ; для железных руд  $k = 0,4 – 1,5$ .

Пожарицкий К. Л. [190] также предложил выбирать  $k$  в зависимости от общих характеристик руды. При этом диапазон значений  $k$  оставался большим  $k = 0,06 ÷ 20$ . Для продуктов с крупностью кусков 20 – 50 мм применение указанных значений  $k$  приводит к необходимости иметь пробы массой от нескольких тонн до десятков тонн. По этой причине в последующем появилась серия работ, обосновывающих снижение коэффициента  $k$ .

Каллистов П. Л. [6, 29, 32] предложил для руд черных, цветных и редких металлов использовать коэффициент  $k$  в диапазоне 0,05 – 0,1; а для руд благородных металлов 0,2 – 1,0.

В последующем все предложения по выбору  $k$  сводились также к выбору его из более узкого диапазона возможных значений. Одной из последних таких попыток явилась работа Кушпаренко Ю. С. [28], в которой предлагается выбирать  $k$  в зависимости от характеристик руды в диапазоне 0,1 – 1,0 для всех руд, кроме алмазных.

Однако, все изложенные предложения никак не связывали выбор  $k$  с погрешностью сокращения пробы. Несмотря на попытки несколько сгладить однозначность формулы Ричардса-Чечотта (постоянная степень при  $d_{max}$ ) выбором степени при  $d_{max}$  путем использования формулы Демонда – Хальфердаля:

$$q(\text{кг}) = k \cdot d_{\text{max}}^a \text{ (мм)}, \quad (3.67)$$

Простота данной формулы позволяет применять ее повсеместно, при этом только решая проблему выбора «правильного» коэффициента  $k$ .

В ГОСТ 14180-80 [15] минимальная масса пробы в килограммах, полученная после сокращения ( $m_d$ ), вычисляется по формуле (3.66), когда коэффициент  $k$  зависит от однородности руды. Широко распространенный и повсеместно используемый, вследствие отсутствия аналогичных стандартов для многих видов руд, ГОСТ 14180-80 сузил выбор  $k$  до четырех значений: 0,06; 0,1; 0,15 и 0,2. В итоге почти единственным используемым для расчетов значением  $k$  стало значение  $k = 0,1$ . Категория однородности руды определяется по коэффициенту вариации, метод определения которого указывается в этом же стандарте (позиция 3.5 и приложение 1). Коэффициент вариации характеризует неоднородность руды в опробуемом массиве, определяется по результатам анализа точечных проб и не может характеризовать однородность руды в лаборатории. Пробы руды и продуктов обогащения в лаборатории обычно перед

сокращением перемешиваются, и особенности продуктов определяются не коэффициентом вариации, а наличием в пробе раскрытых зерен определяемых компонентов или сростков. Поэтому определение коэффициента  $k$  по коэффициенту вариации не является верным.

Теоретического обоснования формулы (3.69) долгое время не существовало. В работе Карпенко Н. В. [7] приводятся формулы тринадцати авторов, которые все возможно свести к одному виду:  $q = kd^3$ . Только после включения в формулу минимальной массы текстуры руды (размеров и распределений вкраплений) появилась возможность объяснить причины появления других показателей степени при размере кусков руды, кроме «3». При этом суммарный показатель степени «3» при размерах кусков и размерах вкраплений минералов сохраняется, но при этом она перераспределяется в зависимости от характера вкраплений между размерами кусков и размерами вкраплений (зерен минералов).

В итоге формула минимальной массы пробы для тщательно перемешанной пробы имеет следующий вид [6]:

$$q = \frac{f\rho S_k^2 (d_3)^{3-b}}{4S_{\text{доп}}^2} \cdot (d)^b, \quad (3.68)$$

где  $f$  – коэффициент формы ( $f = 0,3 - 0,5$ );  $S_k^2$  – покусковая дисперсия;  $S_{\text{доп}}$  – допустимая среднеквадратичная погрешность;  $\rho$  – плотность пробы;  $d_3$  – размер зерен определяемого компонента;  $d$  – размер кусков в пробе;  $b$  – характеристика вкрапленности (для неравномерной вкрапленности  $b = 1,5 \div 2$ ).

Недостатком формулы (3.68) является ее относительная сложность и необходимость определения ряда вспомогательных величин. Однако полная ясность получаемых результатов компенсирует возможные дополнительные затраты на выполнение расчетов.

С целью практического использования формулы (3.68) предлагается ряд упрощений и допущений, позволяющих получить простую рабочую формулу минимальной массы.

Для руд, как для относительно бедных продуктов, покусковая дисперсия рассчитывается по следующей формуле [6]:

$$S_k^2 = \frac{\rho_M}{\rho_{\Pi}} \alpha \beta_M, \quad (3.69)$$

где  $\alpha$  – массовая доля определяемого компонента в руде;  $\beta_M$  – то же в минерале;  $\rho_M$  и  $\rho_{\Pi}$  – плотности минерала и породы (для руд  $\rho_{\Pi} = \rho$ ).

Допустимая среднеквадратичная погрешность  $S_{\text{доп}}$  выражается через относительную допустимую погрешность  $P_{\text{доп}}$ , используя связь

$$P_{\text{доп}} = \frac{t \cdot S_{\text{доп}}}{\alpha} \cdot 100 \cong \frac{2 \cdot S_{\text{доп}}}{\alpha} \cdot 100. \quad (3.70)$$



Если, как это установлено формулой Ричардса-Чечотта, полагать  $b = 2$  и подставлять  $\rho_m$  в кг/м<sup>3</sup>; размеры зерен  $d_{z \max}$  и кусков руды  $d_{\max}$  в миллиметрах, а допустимую относительную погрешность сокращения  $P_{\text{доп}}$  в процентах, то минимальная масса пробы будет рассчитана по следующей формуле:

$$q = \frac{f \rho_m \beta_m d_{z \max} \cdot 10^{-5}}{P_{\text{доп}}^2 \cdot \alpha} \cdot d_{\max}^2 = k d_{\max}^2. \quad (3.71)$$

Таким образом, получена формула для расчета коэффициента  $k$  в формуле Ричардса-Чечотта:

$$k = \frac{f \cdot \rho_m \beta_m d_{\max} \cdot 10^{-5}}{P_{\text{доп}}^2 \cdot \alpha}. \quad (3.72)$$

Из формулы следует, что коэффициент  $k$  действительно зависит от размеров вкраплений ( $d_{z \max}$ ), массовой доли ( $\alpha$ ), но по большей части – от квадрата относительной допустимой погрешности сокращения ( $P_{\text{доп}}$ ).

Ниже показан расчет коэффициента  $k$  на примере медной и золотой руды. Для медной руды  $f = 0,4$ ;  $\rho_m = 4\,200$  кг/м<sup>3</sup>;  $\beta_m = 34,6$  % и  $P_{\text{доп}} = 1$  %.

$$k = \frac{0,4 \cdot 4200 \cdot 34,6 \cdot 10^{-5}}{1^2} \cdot \frac{d_{z \max}}{\alpha} = 0,6 \frac{d_{z \max}}{\alpha}$$

Возможные значения  $k$  в зависимости от размеров вкраплений и массовой доли приведены в таблице 3.23.

Таблица 3.23 – Значения коэффициента  $k$  в формуле Ричардса-Чечотта для медной руды

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

Среди возможных значений получены величины, принятые в ГОСТ 14180-80 от 0,06 до 0,2 только для мелкокрапленых (менее 0,1 мм) или сравнительно богатых руд (более 2 %).

Для золотосодержащей руды  $f = 0,05$ ;  $\rho_m = 18\,000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\beta_m = 10^6$  г/т и  $P_{\text{доп}} = 10\%$  при измерении массовой доли в г/т:

$$k = \frac{0,05 \cdot 18000 \cdot 10^6 \cdot 10^{-5}}{10^2} \cdot \frac{d_{z\text{max}}}{\alpha} = 90 \frac{d_{z\text{max}}}{\alpha}$$

Некоторые рассчитанные значения приведены в таблице 3.24.

Видно, что значения  $k < 1$  для золотосодержащих руд появляются только для мелкого золота (мельче 0,1 мм) при большой массовой доле (более 10 г/т).

Из формулы (3.72) и таблиц следует, что предложения по снижению  $k$  не обоснованы, а предлагаемые в различных научных работах [28, 112, 189, 190] значения  $k$  более соответствуют рассчитанным значениям, среди которых имеются и большие (более 20 или 30).

В таблице 3.25 приведены результаты расчета зависимости коэффициента  $k$  от допустимой погрешности сокращения  $P_{\text{доп}}$  для медной руды при  $f = 0,4$ ;  $\rho_m = 4\,200$  кг/м<sup>3</sup>;  $\beta_m = 34,6\%$ ;  $d_z = 1,0$  мм и массовой доле меди 1,0 %, а также для золотосодержащей руды при  $f = 0,05$ ;  $\rho_m = 18\,000$  кг/м<sup>3</sup>;  $\beta_m = 10^6$  г/т;  $d_z = 1,0$  мм и массовой доле золота 1,0 г/т.

Таблица 3.24 – Значения коэффициента  $k$  в формуле Ричардса-Чечотта для золотосодержащей руды

Размер вкраплений $d_{z\text{max}}$ , 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

Таблица 3.25 – Зависимость коэффициента  $k$  от допустимой погрешности сокращения  $P_{\text{доп}}$  для медной и золотосодержащей руд

Вид руды	Допустимая погрешность сокращения пробы $P_{\text{доп}}$ , %					
	1	3	5	7	10	15
Медная руда	0,06	0,0065	0,0024	0,0012	0,0006	0,0003
Золотосодержащая руда	---	---	360	184	90	40

Данные таблицы 3.25 наглядно демонстрируют значимость влияния допустимой погрешности сокращения на величину коэффициента  $k$ . Так, например, при изменении допустимой погрешности с 1 до 10 % коэффициент  $k$  для медной руды уменьшается в 100 раз.

Приведенные в таблицах значения  $k$  и тенденции их изменения для современных специалистов не являются очевидными, в результате чего на практике принимаются решения на основе предложений по существенному снижению коэффициента  $k$ . В работе [143] приведен пример использования формулы Ричардса-Чечотта для золотых руд. Авторы приняли коэффициент  $k = 1$ .

Для приведенной авторами схемы исходная проба крупностью  $d_{\max} = 2$  мм сокращается до массы 4 кг (в соответствии с формулой  $q = 1 \cdot d_{\max}^2$ ).

Ниже показано, с какой погрешностью выполнено такое сокращение, приняв коэффициент формы для золота 0,05, размер частиц золота 0,5 мм, массовую долю золота в руде 4 г/т.

Из формулы (3.71) следует:

$$P = \sqrt{\frac{f \cdot \rho_M \cdot \beta_M \cdot d_{3 \max} \cdot 10^{-5} \cdot d_{\max}^2}{q \cdot \alpha}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,05 \cdot 1800 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot 10^{-5} \cdot 2^2}{4 \cdot 4}} = 33,54\%$$

Для получения при сокращении массы пробы с погрешностью 10 % следовало бы принять другой коэффициент  $k$ :

$$k = 90 \cdot \frac{d_{3 \max}}{\alpha} = 90 \cdot \frac{0,5 \text{ мм}}{4 \text{ г/т}} = 11,25.$$

Пробу следует сокращать не до 4 кг, а до  $q = kd_{\max}^2 = 11,25 \cdot 2^2 = 45$  кг.

Для золотосодержащих руд предлагался другой показатель степени при  $d_{\max}$ : 1,75 или 1,8. Дальнейшее снижение показателя степени авторами не изучено. Тем не менее, в работе Краснова Д. А. [191] было показано, что для неравномерной вкрапленности применяется показатель степени 1,5.

Возможно рассчитать коэффициенты  $k$  для приведенных примеров в формуле

$$q \text{ (кг)} = kd_{\max}^{1,5}. \quad (3.73)$$

В этом случае формула (3.71) преобразуется следующим образом:

$$q = \frac{f \rho_M \cdot \beta_M d_{3 \max}^{1,5} \cdot 10^{-5}}{P_{\text{доп}}^2 \cdot \alpha} \cdot d_{\max}^{1,5}. \quad (3.74)$$

Для медной руды:

$$k = 0,6 \frac{d_{3 \max}^{1,5}}{\alpha}. \quad (3.75)$$

Для золотосодержащей руды:

$$k = 90 \frac{d_{3 \max}^{1,5}}{\alpha} \quad (3.76)$$

Тогда для рассчитанного примера:

$$k = 90 \cdot \frac{0,5^{1,5}}{4} = 5,62 ,$$

а минимальная масса пробы составит:

$$q = 5,62 \cdot 2^{1,5} = 15,9 \text{ кг.}$$

Коэффициенты  $k$  в формуле  $q = kd_{\max}^{1,5}$  для золотых руд приведены в таблице 3.26.

Таблица 3.26 – Значения коэффициента  $k$  в формуле  $q = kd_{\max}^{1,5}$  для золотосодержащей руды

Размер вкраплений $d_{3 \max}$ , мм	Массовая доля золота, г/т			
	1,0	2,0	5,0	10,0
0,1	2,8	1,4	0,6	0,3
0,5	31,8	15,9	6,3	3,2
1,0	90,0	45,0	18,0	9,0

Минимальная масса пробы по формуле Ричардса-Чечотта  $q = kd_{\max}^2$  для  $d_{3 \max} = 0,5$  мм;  $\alpha = 2$  г/т и  $d_{\max} = 20$  мм:

$$q = 22,5 \cdot 20^2 = 9 \text{ 000 кг,}$$

и по формуле  $q = kd_{\max}^{1,5}$ :

$$q = 15,9 \cdot 20^{1,5} = 1422 \text{ кг.}$$

Разница в результатах расчета очевидна.

Результаты расчета коэффициента  $k$  в формуле  $q = kd_{\max}^{1,5}$  для медных руд приведены в таблице 3.27.

Таблица 3.27 – Значения коэффициента  $k$  в формуле  
 $q = kd_{\max}^{1,5}$  для медной руды

Размер вкраплений $d_{z \max}$ , мм	Массовая доля меди, %			
	0,5	1,0	2,0	5,0
0,1	0,04	0,02	0,01	0,004
0,5	0,42	0,21	0,11	0,04
1,0	1,20	0,60	0,30	0,12

Расчет по формуле  $q = kd_{\max}^{1,5}$  для медных руд также приводит к значительному уменьшению массы проб.

### 3.4. Рабочая схема расчета относительных случайных погрешностей результата опробования

Опробование руды и продуктов обогащения на обогатительных фабриках выполняется непрерывно. По результатам опробования вводятся необходимые изменения режимов обогащения, рассчитываются показатели, составляются технологические и товарные балансы.

Технология опробования включает в себя ряд отдельных технологических операций: отбор точечных проб, формирование объединенной пробы, многостадийную подготовку пробы и анализ. Каждая из этих операций выполняется по инструкциям, разработанным на основе стандартов с учетом конкретных условий отбора, подготовки и анализа проб. Результат реализуемой технологии опробования содержит случайную погрешность. С использованием случайной погрешности выполняются управляющие воздействия при оперативном опробовании, определяется наличие систематической погрешности, оценивается значимость расхождений результатов обогащения при настройке режимов работы схемы обогащения, определяется качество расчетов технологических балансов и допустимая невязка товарного баланса.

Как правило, расчет случайной погрешности для точки опробования не выполняется, а действующими стандартами предлагается определять случайную погрешность экспериментальным путем.

Экспериментальная методика определения случайных погрешностей отличается высокой трудоемкостью, по этой причине определение указанных погрешностей опробования на обогатительных фабриках выполняется редко.

Требования к качеству опробования различны в зависимости от назначения результатов опробования, а также в зависимости от стоимости и важности полезного компонента. Наиболее высокие требования по качеству опробования предъявляются к договорным взаимоотношениям потребителей (переработчиков) с поставщиками (обогатительными фабриками). Так, в договоре на поставку медного концентрата указано, что допустимое расхождение в результатах анализа

партий концентрата равно 0,8 %. Это означает, что при отгрузке партии, как и при ее приемке, допустимое отклонение составляет 0,57 % (меньше в  $\sqrt{2}$ ). Технология опробования (отбора проб, подготовки их и анализа) должна данный результат обеспечить. Значение случайной погрешности опробования необходимо также при выявлении систематической погрешности опробования. Цели выявления систематической погрешности могут быть различны: оценка результатов работы нового технологического оборудования, оценка результатов работы оборудования для опробования, разрешение спора между поставщиком и потребителем, оценка результатов испытаний новых технологических режимов или схем обогащения.

Известны формулы и методики расчета случайных погрешностей отдельных операций опробования, но они либо не имеют обобщения, либо сложны для практических расчетов [6, 26, 33, 45, 57, 58, 84, 101, 113, 192, 193]. Постоянные «улучшения» формул [7, 31, 32, 81, 95, 113, 165, 166, 169, 171, 193, 194, 195, 196, 197] только усложняют расчеты, затрудняют составление методик опробования, и, в итоге, оказываются неиспользуемыми в практике опробования на обогатительных фабриках. Одним из последних улучшений является предложение рассчитывать погрешность для отдельных фракций крупности с последующим суммированием дисперсий [198].

Случайная погрешность опробования в соответствии с технологической схемой, включающей последовательно выполняемые операции отбора, подготовки и анализа проб, определяется по формуле

$$S_{\bar{\alpha}}^2 = S_{\text{от}}^2 + S_{\text{под}}^2 + S_{\text{ан}}^2, \quad (3.77)$$

где  $S_{\bar{\alpha}}, S_{\text{от}}, S_{\text{под}}, S_{\text{ан}}$  – случайные среднеквадратичные погрешности результата опробования, отбора, подготовки и анализа проб соответственно.

Результатом опробования является средняя массовая доля « $\bar{\alpha}$ » определяемого компонента для опробуемого массива, если он неподвижен, или для контрольного периода, если опробуется поток материала на конвейере или в трубопроводе. Поэтому у величины « $S_{\bar{\alpha}}$ » поставлен индекс среднего над индексом.

Так как обычно анализируется объединенная проба, полученная отбором  $N_T$  точечных проб, то формулу (3.77) следует представить в следующем виде:

$$S_{\bar{\alpha}}^2 = \frac{S_{\text{от}}^2}{N_T} + \frac{S_{\text{под}}^2}{N_{\text{об}}} + \frac{S_{\text{ан}}^2}{n}. \quad (3.78)$$

Величина « $S_{\text{под}}^2$ » делится на  $N_{\text{об}}$ , если за контрольный период накапливается проба для анализа. Например, за два часа отбирается восемь точечных проб, которые подготавливаются к анализу, и на анализ направляется накопленная за смену проба. В двенадцатичасовой смене будет подготовлено шесть проб. Тогда  $N_T = 8 \cdot 6 = 48, N_{\text{об}} = 6$ . В формуле (3.78) величина « $n$ » – число усредняемых результатов анализа.

Полная формула случайной погрешности [6] имеет вид

$$S_{\alpha}^2 = \frac{S_T^2}{N_T} + \frac{K_{и}}{N_{об}} \cdot \sum_{j=1}^k \cdot g f S_{kj}^2 \cdot \rho(d_j)^3 \cdot \left( \frac{1}{q_{j\text{кон}}} - \frac{1}{q_{j\text{нач}}} \right) + \frac{1}{n} \cdot \left[ g f S_{к\text{нав}}^2 \cdot \rho(d_{\text{нав}})^3 \cdot \left( \frac{1}{q_{\text{нав}}} - \frac{1}{q_{\text{пак}}} \right) + \frac{1}{n_M} S_M^2 \right], \quad (3.79)$$

где  $S_T^2$  – дисперсия точечных проб для рассчитываемого контрольного периода;  $N_T$  – число точечных проб, отбираемых в течение контрольного периода;  $K_{и}$  – коэффициент качества работы исполнителя при подготовке проб ( $K_{и} = 2$ ; коэффициент получен экспериментально путем сопоставления средней дисперсии, получаемой исполнителями при сокращении проб, с дисперсией, получаемой по аналитической формуле сокращения);  $N_{об}$  – число объединенных на контрольном периоде проб, подвергающихся подготовке к анализу;  $k$  – число стадий подготовки проб;  $g$  – коэффициент, учитывающий гранулометрический состав пробы (для равномерного распределения  $g = 0,25$ );  $f$  – коэффициент формы зерен (для рудных минералов  $f = 0,4$ ; для золота и других ковких компонентов  $f = 0,2$ );  $S_{kj}^2$  – покусковая дисперсия на  $j$ -ой стадии сокращения пробы;  $\rho$  – плотность пробы,  $\text{кг/м}^3$ ;  $d_j$  – крупность материала пробы на  $j$ -ой стадии сокращения (полностью –  $d_{95j}$ , мм;  $q_j$  – масса пробы на  $j$ -ой стадии сокращения, кг;  $n$  – число анализируемых навесок;  $n_M$  – число измерений массовой доли на одной навеске;  $S_M^2$  – случайная погрешность (дисперсия) метода анализа (метода выполнения измерений согласно МВИ);  $q_{\text{нав}}$  и  $q_{\text{пак}}$  – масса навески, направляемой на анализ, и масса подготовленной к анализу пробы в пакете (лабораторной пробе) соответственно.

Расчет по полной формуле (3.79) позволяет получить среднеквадратичную погрешность результата опробования, но в связи с необходимостью подсчета покусковой дисперсии на каждой стадии сокращения проб расчет становится громоздким.

Для получения расчетной формулы следует найти коэффициент схемы подготовки  $K_{п}$ , объединяющий повторяющиеся при расчетах величины.

Для руд, хвостов и других бедных по массовой доле продуктов коэффициент схемы подготовки составит:

$$K_{п} = \frac{K_{и} \cdot g f \cdot \rho_M \cdot \beta_M \cdot 10^{-5}}{\alpha}. \quad (3.80)$$

Для концентратов и других богатых по массовой доле продуктов

$$K_{\Pi} = \frac{K_{\text{ИГ}} f \rho_{\text{М}} \cdot (\beta_{\text{М}} - \alpha) \left[ 1 - \frac{\alpha}{\beta_{\text{М}}} \left( 1 - \frac{\rho_{\Pi}}{\rho_{\text{М}}} \right) \right]^2 \cdot 10^{-5}}{\alpha}, \quad (3.81)$$

где  $\rho_{\Pi}$  и  $\rho_{\text{М}}$  – плотность породы и минерала соответственно;  $\beta_{\text{М}}$  – массовая доля компонента в минерале.

Целесообразно также перейти к расчету относительной случайной погрешности по одной конечной формуле, исключив промежуточные преобразования:

$$P_{\alpha}^2 = \frac{4V_{\text{T}}^2}{N_{\text{T}}} + \frac{K_{\Pi}}{N_{\text{Об}}} \left[ \sum_{j=1}^l d_j^b d_3^{3-b} \left( \frac{1}{q_{j \text{ КОН}}} - \frac{1}{q_{j \text{ НАЧ}}} \right) + \sum_{j=l+1}^k d_j^3 \left( \frac{1}{q_{j \text{ КОН}}} - \frac{1}{q_{j \text{ НАЧ}}} \right) \right] + \frac{1}{n} \left[ K_{\Pi} d_{\text{НАВ}}^3 \left( \frac{1}{q_{\text{НАВ}}} - \frac{1}{q_{\text{ПАК}}} \right) + \frac{P_{\text{М}}^2}{n_{\text{М}}} \right]. \quad (3.82)$$

В формуле (3.82) размеры крупности « $d$ » и « $d_3$ » подставляются в миллиметрах, а массы проб – в килограммах. Коэффициент вариации « $V_{\text{T}}$ » и погрешность метода анализа « $P_{\text{М}}$ » подставляются в формулу в процентах.

Так как конечные массы проб при сокращении в несколько раз меньше начальных, а « $n_{\text{М}}$ » равно единице, формулу (3.82) можно представить в виде рабочей расчетной формулы:

$$P_{\alpha}^2 = \frac{4V_{\text{T}}^2}{N_{\text{T}}} + \frac{K_{\Pi}}{N_{\text{Об}}} \left( \sum_{j=1}^l \frac{d_j^2 d_3^{3-b}}{q_j} + \sum_{j=l+1}^k \frac{d_j^3}{q_j} \right) + \frac{1}{n} \left( \frac{K_{\Pi} d_{\text{НАВ}}^3}{q_{\text{НАВ}}} + P_{\text{М}}^2 \right). \quad (3.83)$$

В формуле (3.83) величина « $d_3$ » – крупность зерен минерала  $d_{95\%}$ , а величина « $b$ » – показатель вкрапленности [6]. Для неравномерно вкрапленных руд  $b = 1,5$ .

В формулах (3.82) и (3.83) используются величины, которые следует предварительно определить для рассчитываемой точки опробования. Эти величины рассмотрены ниже:

1. Величина « $V_{\text{T}}$ » – коэффициент вариации точечных проб за смену.

Для обогащательных фабрик по ГОСТ 14180-80 [15] партией считается руда, переработанная за одну смену. В указанном стандарте приводятся коэффициенты вариации массовой доли: для руд 35 %, для концентратов по основному компоненту 5 % и по дополнительным компонентам 15 %. Эти величины существенно завышены.

Для получения коэффициента вариации для партии (смены) в ГОСТ 14180-80 предусмотрена экспериментальная процедура специального опробования партий с расчетом среднего значения коэффициента вариации за десять смен. На одной из



обогащительных фабрик цветной металлургии было выполнено такое специальное опробование и получены средние сменные коэффициенты вариации в руде: для меди 6,2 %; для серы 7,3 %; для влаги 11,1 %. Средние за десять смен массовые доли соответственно: 3,2 %; 12,8 % и 2,8 %. По такой же схеме на медной обогащительной фабрике получено, что сменный коэффициент вариации меди в концентрате при массовой доле 24,5 % равен 2,0 %. Такие эксперименты выполняются достаточно редко [107].

Существующее опробование на обогащительных фабриках позволяет получать коэффициенты вариации по результатам текущего опробования. Для этого необходимо найти средние размахи массовой доли для 60 – 90 смен по результатам часовых (двухчасовых) проб и найти сменный коэффициент вариации по формуле:

$$V_{\text{см}} = \frac{\overline{\Delta\alpha}}{4\bar{\alpha}} \cdot 100, \% \quad (3.84)$$

где  $\overline{\Delta\alpha}$  – средний размах ( $\Delta\alpha = \alpha_{\text{max}} - \alpha_{\text{min}}$ ) за обработанное число смен;  $\bar{\alpha}$  – средняя массовая доля за обработанное число смен.

Для медно-цинковой обогащительной фабрики по 90 сменам получены размахи массовых долей и найдены сменные коэффициенты вариации при анализе объединенных двухчасовых проб. При средней массовой доле меди в руде  $\alpha = 0,95$  % коэффициент вариации за смену составил  $V_{\alpha} = 7,4$  %. Соответственно, для концентрата  $V_{\beta} = 2,2$  %, а для хвостов  $V_{\nu} = 7,8$  %. Совпадение с получаемыми экспериментальным путем коэффициентами вариации удовлетворительное. Для обогащительных фабрик такой вариант определения коэффициентов вариации массовой доли в руде, хвостах и в концентрате является более предпочтительным.

## 2. Величина « $P_{\text{м}}$ » – погрешность метода анализа.

Относительная погрешность метода анализа, как правило, неизвестна. В таблицах допустимых погрешностей анализа приводятся расхождения между параллельными определениями, в погрешность анализа которых входит и погрешность отбора навески.

Погрешность отбора навески тем меньше, чем более богатый продукт анализируется. Поэтому за относительную погрешность метода анализа можно принять величину, определяемую по формуле:

$$P_{\text{м}} = \frac{\Delta\alpha}{2\alpha} \cdot 100, \%$$

где  $\Delta\alpha$  – допустимые расхождения между параллельными анализами для максимального в таблице расхождений значения  $\alpha$ .

Так, относительная погрешность метода анализа определения меди в медных концентратах составляет 1 % относительный:

$$P_{\text{м}} = \frac{0,25}{25} \cdot 100 = 1 \%,$$

та же величина для руды составит 2 % относительных:

$$P_M = \frac{0,1}{5} \cdot 100 = 2 \%$$

Для золотых руд  $P_M = 10 \%$  (результат пробирного анализа).

3. Величина « $d_3$ » – крупность зерен полезного минерала.

Зерна полезного компонента имеют различную крупность, поэтому в формулу подставляется величина  $d_{953}$ , а для ковких минералов – величина  $d_{993}$ .

Используемые величины получают при исследованиях руд просмотром шлифов или аншлифов, либо при оценке раскрытия минералов при дроблении.

4. Величина « $b$ » – характеристика вкрапленности.

Величина является показателем текстуры руды.

Для большинства руд цветных металлов текстура характеризуется неравномерной вкрапленностью ( $b = 1,5$ ). Для слоистых руд  $b = 2$ , для прожилковых  $b = 1$ , а для редкой равномерной вкрапленности  $b = 0$  [108].

Формула относительной случайной погрешности (3.82) позволяет рассчитывать погрешности для любой действующей технологии опробования на обогатительной фабрике и совершенствовать ее характеристики.

Практические расчеты выполнены ниже на реальных схемах подготовки проб руд, концентратов и хвостов обогатительных фабрик.

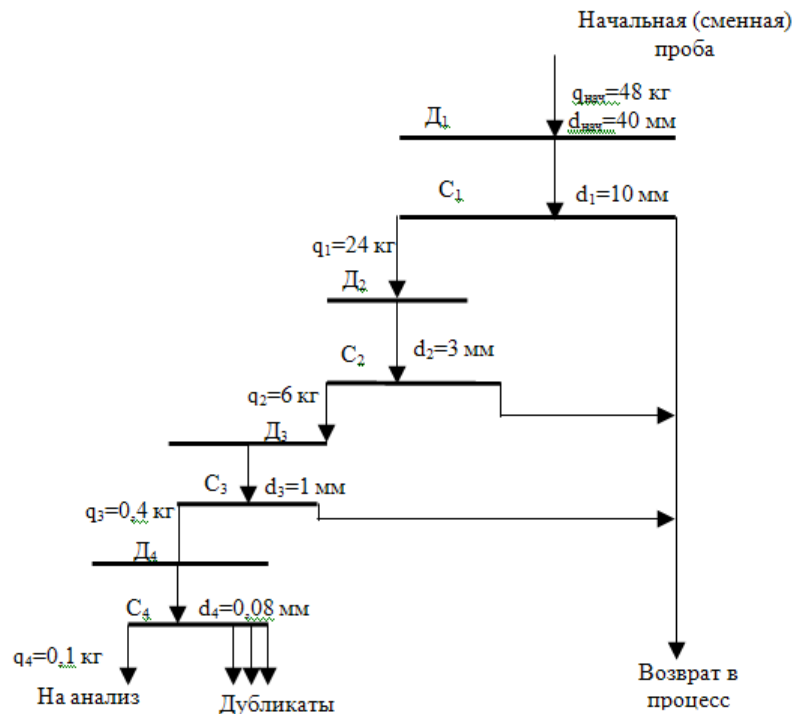


Рисунок 3.15 – Схема подготовки пробы руды

Для расчета принята технология опробования руды на медно-цинковой фабрике. Расчет выполнен по двум компонентам: основному (медь) и попутному (золото).

Анализ на медь выполняется за смену, а анализ на золото выполняется один раз в 10 суток (20 смен). В течение указанных периодов также накапливаются объединенные пробы.

Для практических расчетов по крупнокусковым продуктам необходимо подготовить данные для расчета. Схему подготовки пробы следует изобразить в удобной для ведения расчета форме, оставив в ней только операции дробления или измельчения (Д) и сокращения (С) (рисунок 3.15). Характеристики руды и технологии опробования сведены в таблицу 3.28.

Расчет по меди выполняется на основе данных таблицы 3.28 и формул (3.80) и (3.82). По формуле (3.80) определяется коэффициент схемы подготовки пробы  $K_{\Pi}$  по меди:

$$K_{\Pi} = \frac{K_{и} \cdot g \cdot f \cdot \rho_{м} (\beta_{м} - \alpha) \cdot 10^{-5}}{\alpha} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 0,4 \cdot 4100 \cdot (34,6 - 0,95) \cdot 10^{-5}}{0,95} = 0,29$$

Таблица 3.28 – Характеристики руды и технологии опробования руды

Составные части технологии опробования	Необходимые для расчета величины	Обозначение	Металлы	
			Медь	Золото
Характеристики	Размер вкраплений минералов	$d_3$	0,8 мм	0,1 мм
	Показатель вкрапленности	$b$	1,5	0
	Коэффициент формы	$f$	0,4	0,2
	Плотность минерала	$\rho_{м}$	4100 кг/м <sup>3</sup>	18000 кг/м <sup>3</sup>
	Массовая доля полезного компонента в минерале	$\beta_{м}$	34,6 %	0,9·10 <sup>6</sup> г/т (с учетом пробности)
	Массовая доля полезного компонента в руде	$\alpha$	0,95 %	1,7 г/т
Отбор проб	Коэффициент вариации массовой доли за смену	$V_T$	7,4 %	40 % (за 10 суток)
	Число точечных проб в объединенной пробе	$N_{т.об}$	8	8
	Число объединенных проб	$N_{об}$	6	120 за декаду
	Число точечных проб для рассчитываемого контрольного периода	$N_T$	48	960
	Начальная крупность пробы	$d_{нач}$	40 мм	40 мм
	Начальная масса объединенной пробы	$q_{нач}$	48 кг	48 кг
Подготовка пробы	Крупность пробы по стадиям	$d_1$	10 мм	10 мм
		....	3 мм	3 мм
			1 мм	1 мм
		$d_n$	0,08 мм	0,08 мм
	Масса пробы по стадиям	$q_1$	24 кг	24 кг
		....	6 кг	6 кг
			0,4 кг	0,4 кг
		$q_n$	0,1 кг	0,1×120=12 кг
	Коэффициент исполнителя	$K_{и}$	2	2
Анализ проб	Число навесок	$n$	2	2
	Масса пакета	$q_{пак}$	0,6 кг	12 кг
	Масса навески	$q_{нав}$	0,5 г	50 г
	Относительная погрешность метода анализа	$P_{м}$	2 %	10 %

По формуле (3.82) определяется относительная случайная погрешность результата опробования. Формула записана для схемы подготовки на рисунке 3.15:

$$P_{\alpha_{Cu}}^2 = \frac{4V_T^2}{N_T} + \frac{K_{II}}{N_{об}} \left[ d_1^b \cdot d_3^{3-b} \left( \frac{1}{q_1} - \frac{1}{q_{нач}} \right) + d_2^b \cdot d_3^{3-b} \left( \frac{1}{q_2} - \frac{1}{q_1} \right) + d_3^b \cdot d_3^{3-b} \left( \frac{1}{q_3} - \frac{1}{q_2} \right) + d_4^3 \left( \frac{1}{q_4} - \frac{1}{q_3} \right) \right] +$$

$$+ \frac{1}{n} \left[ K_{II} \cdot d_4^3 \left( \frac{1}{q_{нав}} - \frac{1}{q_{пак}} \right) + P_M^2 \right] = \frac{4 \cdot 7,4^2}{48} + 0,29 \cdot \frac{1}{6} \left[ 10^{1,5} \cdot 0,8^{1,5} \left( \frac{1}{24} - \frac{1}{48} \right) + 3^{1,5} \cdot 0,8^{1,5} \left( \frac{1}{6} - \frac{1}{24} \right) + 1^{1,5} \cdot 0,8^{1,5} \left( \frac{1}{0,4} - \frac{1}{6} \right) + 0,08^3 \left( \frac{1}{0,1} - \frac{1}{0,4} \right) \right] +$$

$$+ \frac{1}{2} \left[ 0,29 \cdot 0,08^3 \left( \frac{1}{0,0005} - \frac{1}{0,6} \right) + 2^2 \right] = 4,56 + 0,13 + 2,15 = 6,84$$

$$P_{\alpha_{Cu}}^- = 2,6 \%$$

Расчет по золоту (проба декадная накопленная) выполняется по формуле (3.80). Находится величина  $K_{II}$ :

$$K_{II} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 0,2 \cdot 18000 \left( 0,9 \cdot 10^6 - 1,7 \right) \cdot 10^{-5}}{1,7} = 9529,4$$

По формуле (3.82) находится величина  $P_{\alpha}^-$ :

$$P_{\alpha_{Au}}^2 = \frac{4 \cdot 40^2}{960} + 9529,4 \cdot \frac{1}{120} \left[ 10^0 \cdot 0,1^3 \left( \frac{1}{24} - \frac{1}{48} \right) + 3^0 \cdot 0,1^3 \left( \frac{1}{6} - \frac{1}{24} \right) + 1^0 \cdot 0,1^3 \left( \frac{1}{0,4} - \frac{1}{6} \right) + 0,08^3 \left( \frac{1}{0,1} - \frac{1}{0,4} \right) \right] +$$

$$+ \frac{1}{2} \left[ 9529,4 \cdot 0,08^3 \left( \frac{1}{0,05} - \frac{1}{12} \right) + 10^2 \right] = 6,66 + 0,49 + 98,8 = 105,95$$

$$P_{\alpha_{Au}}^- = 10,3 \%$$

Расчет погрешности опробования концентрата выполняется по схеме подготовки объединенной пробы концентрата, представленной на рисунке 3.16.

Параметры технологии опробования концентрата представлены в таблице 3.29. Характеристики руды те же, что и в таблице 3.28. Проба концентрата подготавливается к анализу и анализируется один раз в смену.

Расчет погрешности при опробовании концентрата, накоплении и анализе сменной пробы выполняется по формуле (3.81). Определяется величина  $K_{II}$  для меди:

$$K_{II} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 0,4 \cdot 4100 \cdot (34,6 - 18) \left[ 1 - \frac{18}{34,6} \left( 1 - \frac{3000}{4100} \right) \right]^2 \cdot 10^{-5}}{18} = 0,0056$$

$$P_{\beta_{Cu}}^2 = \frac{4 \cdot 2,2^2}{48} + \frac{0,0056}{1} \left[ 0,2^3 \cdot \left( \frac{1}{1,75} - \frac{1}{56} \right) + 0,08^3 \left( \frac{1}{0,2} - \frac{1}{1,75} \right) \right] +$$

$$+ \frac{1}{2} \left[ 0,0056 \cdot 0,08^3 \left( \frac{1}{0,0005} - \frac{1}{0,2} \right) + 1,0^2 \right] = 0,4 + 0,0004 + 0,503 = 0,903$$

$$P_{\beta_{Cu}} = 0,95 \%$$

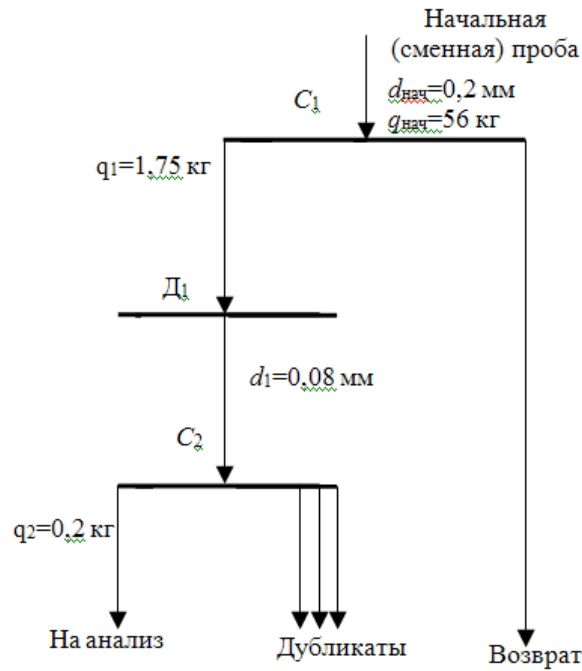


Рисунок 3.16 – Схема подготовки пробы концентрата

Таблица 3.29 – Параметры технологии опробования концентрата

Составные части технологии опробования	Необходимые для расчета величины	Обозначение	Металлы	
			Медь	Золото
Отбор проб	Массовая доля полезного компонента в концентрате	$\beta$	18 %	6 г/т
	Коэффициент вариации массовой доли за смену	$V_T$	2,2 %	3,7 %
	Число точечных проб, составляющих объединенную	$N_T$	48	48
	Число объединенных проб	$N_{об}$	1	1
	Начальная крупность пробы	$d_{нач}$	0,2 мм	0,2 мм
	Начальная масса объединенной пробы	$q_{нач}$	56 кг	56 кг
Подготовка пробы	Крупность пробы по стадиям	$d_1$	0,08 мм	0,08 мм
	Масса пробы по стадиям	$q_1$	1,75 кг	1,75 кг
		$q_2$	0,2 кг	0,2 кг
	Коэффициент исполнителя	$K_{и}$	2	2
Анализ проб	Число навесок	$n$	2	2
	Масса пакета	$q_{пак}$	0,2 кг	0,2 кг
	Масса навески	$q_{нав}$	0,5 г	50 г
	Относительная погрешность метода анализа	$P_M$	1 %	10 %

Расчет для золота в концентрате выполняется по формулам для бедного продукта. Величина  $K_{\Pi}$  определяется по формуле (3.80) (бедный продукт):

$$K_{\Pi} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 0,2 \cdot 18000 (0,9 \cdot 10^6 - 6) \cdot 10^{-5}}{6} = 2700$$

$$P_{\beta \text{ Au}}^2 = \frac{4 \cdot 3,7^2}{48} + 2700 \left[ 0,2^0 \cdot 0,1^3 \left( \frac{1}{1,75} - \frac{1}{56} \right) + 0,08^3 \left( \frac{1}{0,2} - \frac{1}{1,75} \right) \right] + \frac{1}{2} \left[ 2700 \cdot 0,08^3 \left( \frac{1}{0,05} - \frac{1}{0,2} \right) + 10^2 \right] = 1,14 + 7,66 + 60,4 = 69,2$$

$$P_{\beta \text{ Au}} = 8,3 \%$$

Расчет погрешности для хвостов выполняется по схеме подготовки хвостов, приведенной на рисунке 3.17. Параметры технологии опробования хвостов приведены в таблице 3.30.

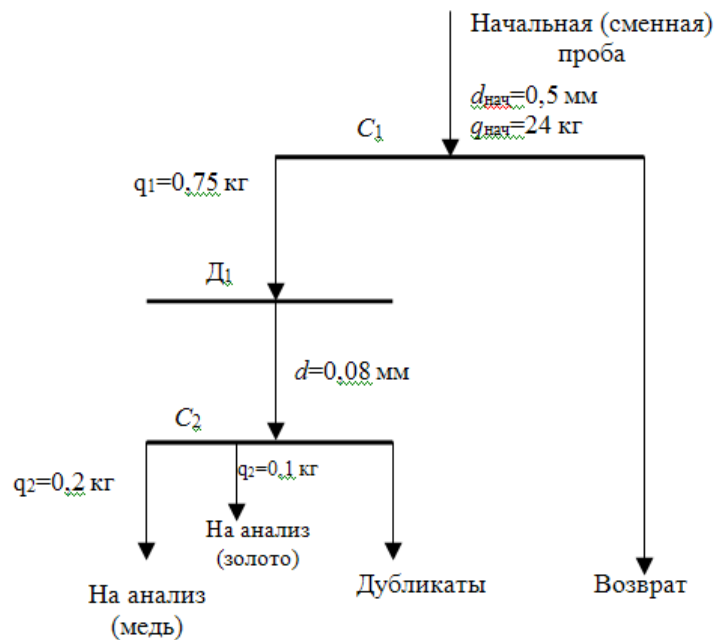


Рисунок 3.17 – Схема подготовки хвостов

Расчет величины  $K_{\Pi}$  для меди:

$$K_{\Pi} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 0,4 \cdot 4100 (34,6 - 0,2) \cdot 10^{-5}}{0,2} = 1,4$$

$$P_{\text{Cu}}^2 = \frac{4 \cdot 7,8^2}{48} + \frac{1,4}{1} \left[ 0,5^3 \cdot \left( \frac{1}{0,75} - \frac{1}{24} \right) + 0,08^3 \left( \frac{1}{0,2} - \frac{1}{0,75} \right) \right] + \frac{1}{2} \left[ 1,4 \cdot 0,08^3 \left( \frac{1}{0,0005} - \frac{1}{0,2} \right) + 2^2 \right] = 5,07 + 0,24 + 2,7 = 8,01$$

$$P_{\text{Cu}} = 2,83 \%$$

Для золота:

$$K_{\text{II}} = \frac{2 \cdot 0,25 \cdot 0,2 \cdot 18000 (0,9 \cdot 10^6 - 0,5) \cdot 10^{-5}}{0,5} = 32400$$

$$P_{\text{Au}}^2 = \frac{4 \cdot 15^2}{480} + \frac{32400}{30} \left[ 0,5^3 \cdot 0,1^3 \left( \frac{1}{0,75} - \frac{1}{24} \right) + 0,08^3 \left( \frac{1}{0,1} - \frac{1}{0,75} \right) \right] + \frac{1}{2} \left[ 32400 \cdot 0,08^3 \left( \frac{1}{0,05} - \frac{1}{1} \right) + 10^2 \right] = 1,87 + 6,23 + 207,6 = 215,7$$

$$P_{\text{Au}} = 14,7 \%$$

Таблица 3.30 – Параметры технологии опробования хвостов

Составные части технологии опробования	Необходимые для расчета величины	Обозначение	Металлы	
			Медь	Золото
Отбор проб	Массовая доля полезного компонента в хвостах	$\nu$	0,2 %	0,5 г/т
	Коэффициент вариации массовой доли за смену	$V_{\text{T}}$	7,8 %	15 %
	Число точечных проб, составляющих объединенную	$N_{\text{T}}$	48	480 (за 5 суток)
	Число объединенных проб	$N_{\text{об}}$	1	30 (за 5 суток)
	Начальная крупность пробы	$d_{\text{нач}}$	0,5 мм	0,5 мм
	Начальная масса объединенной пробы	$q_{\text{нач}}$	24 кг	24 кг
Подготовка пробы	Крупность пробы по стадиям	$d_1$	0,08 мм	0,08 мм
	Масса пробы по стадиям	$q_1$	0,75 кг	0,75 кг
		$q_2$	0,2 кг	0,1 · 10=1 кг
	Коэффициент исполнителя	$K_{\text{и}}$	2	2 (за 5 суток)
Анализ проб	Число навесок	$n$	2	2
	Масса пакета	$q_{\text{пак}}$	0,2 кг	1 кг
	Масса навески	$q_{\text{нав}}$	0,5 г	50 г
	Относительная погрешность метода анализа	$P_{\text{м}}$	2 %	10 %

Расчет случайных погрешностей позволяет выполнить анализ существующей технологии опробования. Предлагаемая методика расчета относительной случайной погрешности позволяет исследовать всю технологию опробования и целенаправленно изменять параметры этой технологии.

Представлены расчеты относительных случайных погрешностей опробования на медь и золото для медно-цинковой обогатительной фабрики для трех точек опробования: руда, концентрат и хвосты. Основной компонент – медь, попутный компонент – золото.

Сменный анализ на медь в руде выполняется с общей относительной случайной погрешностью 2,6 %. Основной вклад в общую погрешность вносит отбор точечных проб. Очевидно, что точечные пробы следует отбирать через меньший интервал времени. Для товарных точек опробования возможно также предложить накапливать все точечные пробы за смену, подготовку же выполнять только для накопленной сменной пробы.

Пробы на золото накапливаются за декаду. Основной вклад в погрешность определения массовой доли золота в руде за декаду вносит операция анализа. При необходимости следует увеличить число параллельных навесок для анализа.

Погрешность опробования на медь по концентрату вполне приемлема. Погрешность определения сменного значения качества концентрата на медь составляет 0,95 % относительных, при этом большую часть составляет погрешность метода анализа. При необходимости следует рассмотреть альтернативный метод анализа. Аналогичный вывод можно сделать для золота.

Погрешность опробования хвостов на медь за смену составляет 2,83 % относительных, а на золото 14,7 % относительных. Для снижения погрешности результата по меди следует увеличивать число точечных проб, а по золоту – увеличить число навесок для анализа.

### **3.5. Высокочастотный отбор проб. Универсальное решение для опробования продуктов обогатительных фабрик**

Отбор проб от опробуемых массивов связан с решением двух разноплановых задач.

Первая задача – разработка методик отбора проб, обеспечивающих нулевую систематическую погрешность. Это возможно, если методика соответствует принципам правильного опробования при выполнении любой отдельной операции. Для этого методики составляются с подробным описанием особенностей, связанных с выполнением всех операций.

Вторая задача – выполнить расчет числа точечных проб в соответствии с ГОСТ 14180-80 «Руды и концентраты цветных металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги» по формуле:

$$N_{\text{т}} = \frac{4V_{\text{т}}^2}{P_{\text{доп}}^2}, \quad (3.85)$$

где  $V_{\text{т}}$  – коэффициент вариации точечных проб;  $P_{\text{доп}}$  – допустимая относительная погрешность отбора объединенной пробы.

Расчет по указанной формуле является неопределенным, так как обе величины  $V_{\text{т}}$  и  $P_{\text{доп}}$  фактически назначаются произвольно.

В зарубежной теории и практике опробования, основанных на достаточно развернутой теории П. Жи [113, 114], обсуждаются проблемы, связанные с



расчетом и использованием погрешностей опробования, а также с определением коэффициентов вариации точечных проб.

Коэффициент вариации точечных проб определяется только экспериментально, так как неоднородность опробуемого массива формируется произвольным образом, не поддающимся теоретическому описанию. Такой эксперимент является трудоемким, тогда как получаемый результат характеризуется значительной относительной погрешностью (40 – 70 % и более).

Допустимая относительная погрешность отбора объединенной пробы может быть назначена только ориентировочно, так как полный расчет погрешностей при принятой технологии опробования не делается. Действующий ГОСТ 14180-80 [15] предлагает погрешность отбора принимать равной погрешности анализа навесок. Такой алгоритм только подчеркивает необоснованность выбора погрешности отбора объединенной пробы.

В итоге следует констатировать, что расчет числа точечных проб по формуле (3.85) является произвольным и недостоверным.

Актуальным на сегодняшний день является обоснование необходимости и целесообразности отказа от неопределенного расчета числа точечных проб в точках опробования на обогатительных фабриках. Единственным теоретически возможным решением, исключающим экспериментальное определение коэффициентов вариации, является покусковое опробование.

Покусковой коэффициент вариации, характеризующий различие кусков опробуемого массива  $V_k$ , и коэффициент вариации точечных проб  $V_T$ , характеризующий неоднородность элементов опробуемого массива, при покусковом опробовании совпадают:

$$V_T(n_T=1)=V_k. \quad (3.86)$$

Формула (3.86) имеет принципиальное значение для создания нового высокочастотного комбинированного способа отбора точечных проб.

Формула коэффициента вариации при покусковом отборе точечных проб принимает следующий вид:

$$V_k = \sqrt{\frac{\rho_M \cdot \beta_M}{\rho_{II} \cdot \alpha}} \cdot 100 \%,$$

где  $\alpha$  – массовая доля определяемого компонента в опробуемом массиве;  $\beta_M$  – то же в минерале, содержащем определяемый компонент;  $\rho_{II}$  и  $\rho_M$  – плотность породы и минерала.

Масса точечной пробы при отборе проб от опробуемого массива может быть любой: от небольшой частицы до массы, измеряемой десятками килограммов. Масса точечной пробы является первичной величиной, выбираемой с учетом требований к пробоотбирающему инструменту. Применяемые в настоящее время пробоотбиратели для потоков имеют ограничения по ширине пробоотсекающей щели, поэтому в точечную пробу попадает достаточно много кусков опробуемого материала.

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.

На рисунке 3.18 представлена зависимость коэффициента вариации точечных проб от числа отбираемых в точечную пробу кусков.

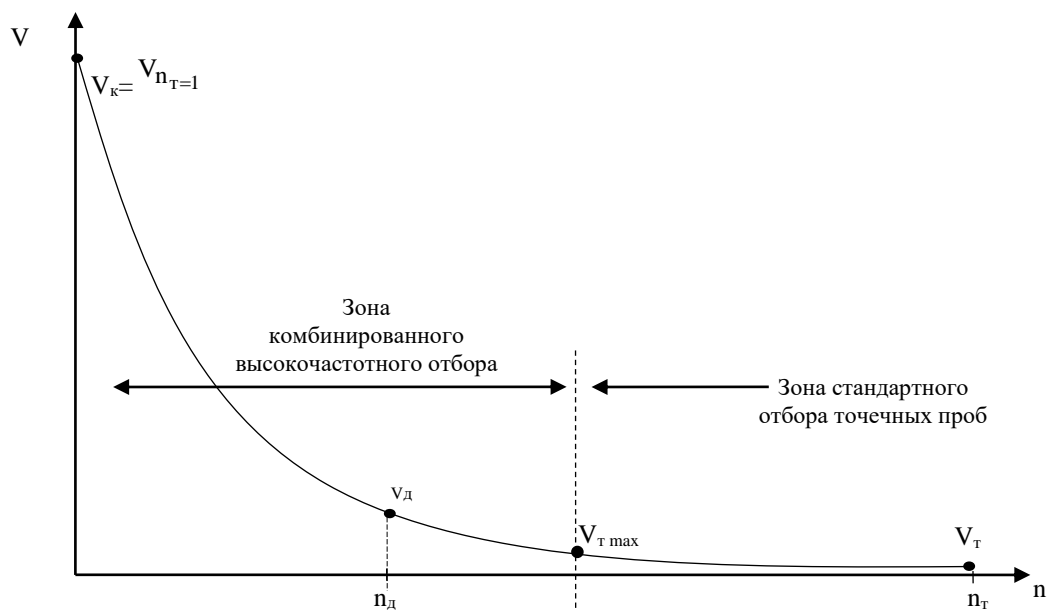


Рисунок 3.18 – Соотношение зон высокочастотного и стандартного варианта отбора точечных проб

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.

Из зависимости следует, что диапазон использования высокочастотного отбора точечных проб обусловлен величиной коэффициента вариации массовой доли, изменяющегося в пределах, заданных требованиями ГОСТ 14180-80. Зависимость начинается с точки  $n = 1$ , когда в пробу отбирается один кусок, и становится равной  $V_T$  при отборе реального для практики числа кусков  $n_T$ .

Установлена граница, разделяющая зоны стандартного и предлагаемого высокочастотного способов отбора проб. Пробоотбиратель, отбирающий число кусков  $n_d$ , которое найдено по условию превышения коэффициента вариации пробоотбирателя над коэффициентом вариации точечных проб для обогатительной фабрики, является универсальным для любых условий опробования. Переход к высокочастотному отбору точечных проб позволит исключить из практики обогатительных фабрик все работы, связанные с экспериментальным определением величины  $V_T$  и расчетом числа точечных проб  $N_T$ .

### 3.6. Выводы

1. Случайная погрешность отбора проб способом поперечного пересечения или способом вычерпывания зависит от определяемого экспериментальным путем коэффициента вариации, изменяющегося для коротких контрольных периодов (смена, сутки) и от партии к партии случайным образом. Установить коэффициент вариации для партии или для смены можно только как средний на большом массиве партий или смен. Это требует изменения методики определения коэффициента вариации в ГОСТ 14180 и аналогичных документах.

Предложена методика определения коэффициента вариации по большому массиву данных по результатам текущего опробования на обогатительной фабрике.

Коэффициенты вариации массовой доли для партии концентрата или контрольного периода для потоков (смены) обычно невелики и соизмеримы с коэффициентами вариации, связанными со случайными погрешностями опробования. Они имеют большой разброс, поэтому необходимо находить и использовать среднее значение такого коэффициента вариации за длительный период работы обогатительной фабрики или для большого числа партий.

2. При отборе проб способом периодического продольного пересечения точечная проба отбирается (или анализируется) на протяжении периода времени, превышающего тот же период при отборе проб способом поперечного пересечения. В таком случае случайная погрешность отбора (анализа) пробы определяется ее массой и может быть найдена путем теоретического расчета. Дисперсия точечных проб при использовании способа продольного пересечения

характеризует дисперсию средних значений массовой доли на интервалах анализа точечных проб  $\tau_a$ , и по величине будет меньше, чем дисперсия точечных проб, определяемая с использованием метода поперечного пересечения. При использовании способа периодического продольного пересечения потока объединенная начальная проба формируется большим количеством точечных проб, отбираемых через относительно короткие промежутки времени. Отобранные в таком режиме точечные пробы содержат меньше информации об изменении массовой доли ценного компонента, так как являются коррелированными между собой. Чем больше корреляция между соседними точечными пробами, тем больше снижается информативность таких проб.

При использовании механизированного оборудования для опробования и относительно малых интервалов времени между отбором точечных проб случайная погрешность объединенной начальной пробы должна быть рассчитана с учетом снижения информативности соседних точечных проб. Наименьшее значение информативности точечной пробы составляет 0,5.

3. Получена полная формула фундаментальной погрешности отбора проб, связывающая понятия кускового (discrete) и массового (continual) отбора, показывающая совместимость указанных величин.

Формула фундаментальной погрешности, учитывающая только различия кусков опробуемого массива, является частным случаем полной формулы, применимой при кусковом отборе точечных проб, а минимальная масса объединенной пробы в этом случае является опорной массой, теоретически возможной, но реально недостижимой. Фактическое значение минимальной массы может намного превышать опорное значение, так и опорное значение может составлять основную долю фактического. Для медной руды крупностью менее 0,5 мм минимальная опорная масса объединенной пробы равняется 0,035 кг, тогда как фактическая минимальная масса объединенной пробы составляет более 19 кг. Для золотосодержащей руды той же крупности минимальная опорная масса и фактическая масса объединенной пробы составляют 632 и 999 кг соответственно.

Масса точечной пробы 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. Масса объединенной пробы обычно превышает опорную массу и первой операцией подготовки пробы может быть ее сокращение.

Снижение крупности кусков, отбираемых в точечные пробы, является эффективным способом снижения минимальных масс и фундаментальной погрешности опробования.

4. 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 %.

При рекомендованном стандартами числе дубликатных анализов  $N = 10$  определение погрешностей отдельных операций опробования по разности дисперсий может оказаться невозможным, так как получаются отрицательные значения дисперсий для этих операций, и сама схема дисперсионного анализа становится неэффективной. Это требует изменения методики определения случайных погрешностей опробования.

5. 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 А и Б.

Сдвиг соседних точечных проб на время корреляции приводит к альтернативной схеме формирования параллельных проб в течение суток. При этом требования ГОСТ 14180-80 не нарушаются. 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 времени корреляции разница составила 0,85 и 0,84 % соответственно.

6. 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. Указанный коэффициент определяется на основании типа вкрапленности ценного компонента, типа руд, их физико-механических характеристик, величины коэффициента вариации массовой доли ценного компонента, текстуры кусков опробуемого продукта. Ни один из способов определения коэффициента  $k$  не устанавливает его зависимость от погрешности сокращения пробы, выполняемого при доведении ее до минимальной массы.

Коэффициент  $k$  может иметь гораздо больший разброс значений, чем рекомендуют современные авторы, так как он зависит от допустимой (требуемой) погрешности сокращения.

Для получения уточненных значений коэффициента  $k$  следует учитывать состояние пробы в условиях сокращения, используя в расчетной формуле те же характеристики материала, что и в формуле погрешности сокращения.

7. Предложен рабочий алгоритм расчета случайных погрешностей результата всей технологии опробования, основанный на экспериментально оцениваемых коэффициентах вариации точечных проб в опробуемом массиве. В качестве теоретической основы предложенного алгоритма предложена формула фундаментальной погрешности опробования.

На основе рабочего алгоритма при изменении параметров технологии опробования могут быть созданы рациональные по достоверности и трудозатратам схемы опробования.

8. Покусковой отбор точечных проб является теоретическим условием, при котором покусковая дисперсия и дисперсия точечных проб совпадают по величине и могут быть рассчитаны. В связи с технической сложностью реализации покускового отбора и большой разницей величин покусковой дисперсии и дисперсии точечных проб опробуемых масс целесообразно выполнять высокочастотный отбор точечных проб, отбирая в пробу большое количество кусков. Высокочастотный отбор точечных проб исключает необходимость выполнения экспериментальных работ по определению дисперсии точечных проб.

С целью исключения из практики опробования экспериментов и расчетов предложен новый способ отбора и подготовки проб, приближающий условия опробования к теоретическому пределу по минимизации возможной случайной погрешности. Предложенный способ получил название высокочастотного. Его применение возможно на любой из точек опробования любой из обогатительных фабрик. Способ высокочастотного отбора и подготовки проб обеспечивает минимально возможную случайную погрешность, а также заведомо находится в соответствии с требованиями действующих стандартов на опробование.

## 4. Специфические погрешности результата опробования

### 4.1. Асимметрия распределений массовой доли ценного компонента в точечных пробах

#### 4.1.1. Закономерности распределения массовой доли ценного компонента в пробах продуктов обогащения

Распределения массовой доли в точечных пробах являются единственной полной характеристикой опробуемых массивов по массовым долям компонентов.

В практической работе при необходимости получают гистограммы, в последующем обосновывая нормальность распределения или возможные отклонения от нормальности.

В зарубежных источниках нередко рассматриваются вопросы совершенствования систем опробования [193], в том числе ручного отбора проб [192], а также развития минералогических исследований [199]. В частности, выполняются работы по определению погрешностей стандартных образцов [200] и развитию метода пробирного анализа [201]. Все перечисленные работы прямо или косвенно основаны на нормальных распределениях.

Нормальные распределения массовой доли в точечных пробах продуктов обогащения являются скорее исключением, чем распространенным вариантом. На данное обстоятельство обратили внимание прежде всего в геологической отрасли при изучении рядовых проб малой массы [199]. На обогатительных фабриках отбираются пробы относительно большой массы от частично перемешанных опробуемых массивов, в результате чего асимметрия распределений массовой доли уменьшается [200]. Тем не менее, со снижением массовых долей определяемых компонентов, а также с повышением качества концентратов, асимметрия распределений массовой доли в точечных пробах проявляется более заметно, в том числе при переработке руд на обогатительных фабриках [76, 127, 132, 201].

На рисунке 4.1 приведены гистограммы массовой доли меди в руде (*a*) и хвостах (*b*) 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. Аналогичные гистограммы формируются на всех обогатительных фабриках с общей закономерностью: для бедных по массовой доле продуктов характерны правоасимметричные распределения (гистограммы), а для богатых – левоасимметричные распределения.

Причиной асимметрии распределений считается природная гетерогенность руд [6, 7, 43]. При этом гетерогенность руд не сформулирована в достаточно

строгих понятиях и границах, а без такого формулирования важнейшую характеристику опробуемого массива – распределение массовой доли в точечных пробах – возможно получить только экспериментально.

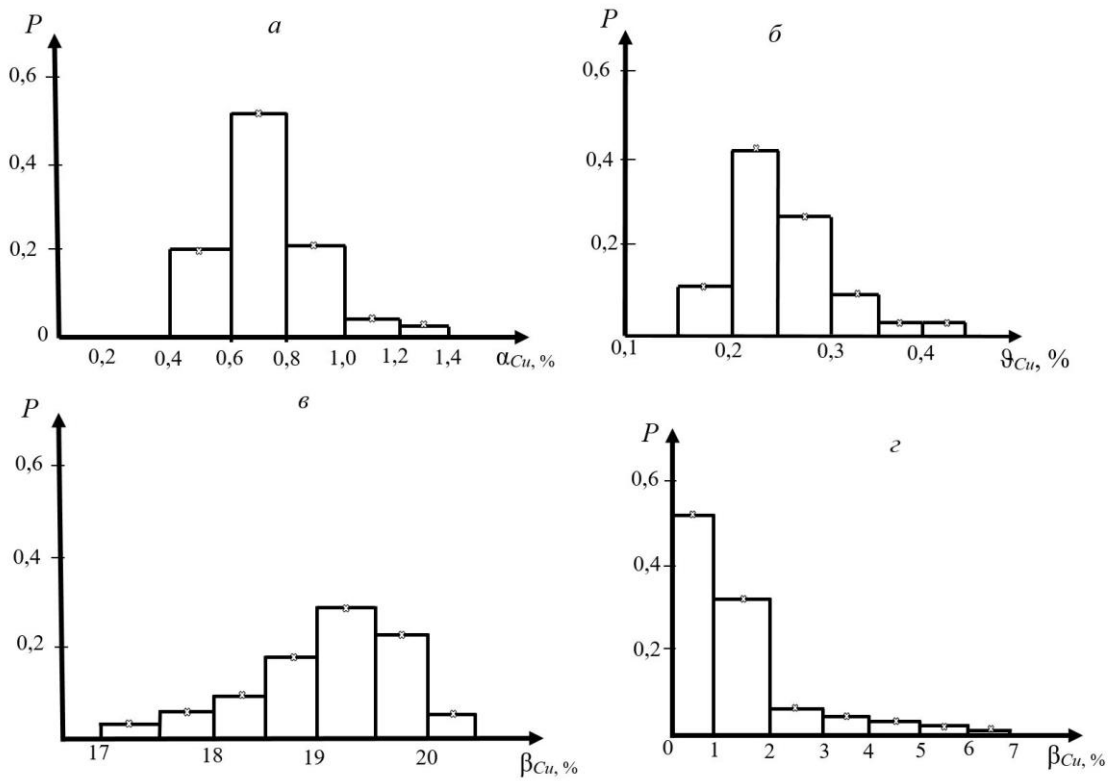


Рисунок 4.1 – Гистограммы распределения массовой доли меди в руде, хвостах, медном и цинковом концентратах:  
*а – для меди в руде; б – для меди в хвостах;*  
*в – для меди в медном концентрате;*  
*г – для меди в цинковом концентрате*

Для получения общих принципиальных выводов о том, каковы должны быть распределения массовой доли в точечных пробах, необходимо определить фундаментальные основы формирования данных распределений. Твердые ископаемые на обогатительных фабриках представлены кусковыми продуктами. Минимально возможное число кусков опробуемого материала в точечной пробе ( $n_T$ ) равно единице. Распределения массовой доли при  $n_T = 1$  являются предельными и могут считаться фундаментальными. В таком случае покусковым опробованием будет назван такой отбор проб, при котором в точечную пробу отбирается один кусок.

Сделано допущение, что в опробуемом массиве все куски одинакового размера и полностью раскрыты. Полностью раскрытый кусок представлен либо чистым минералом, либо породой. В результате анализа таких проб могут быть получены только два числа:  $\beta_M$  – массовая доля определяемого компонента в чистом минерале и «0» (ноль) – массовая доля определяемого компонента в пустой породе. В итоге при покусковом опробовании будет получена гистограмма, состоящая из двух столбцов (рисунок 4.2). На гистограммах правые



столбцы соответствуют доле минеральных зерен, а левые столбцы – доле породных зерен. Особенностью показанных на рисунке 4.2 гистограмм является их асимметричность. Столбцы гистограммы, как правило, являются разными по высоте. Обычно для руды и хвостов правые столбцы намного меньше левых, а для концентратов – наоборот. Поэтому распределения для руды и хвостов считаются правоасимметричными, а для концентратов – левоасимметричными.

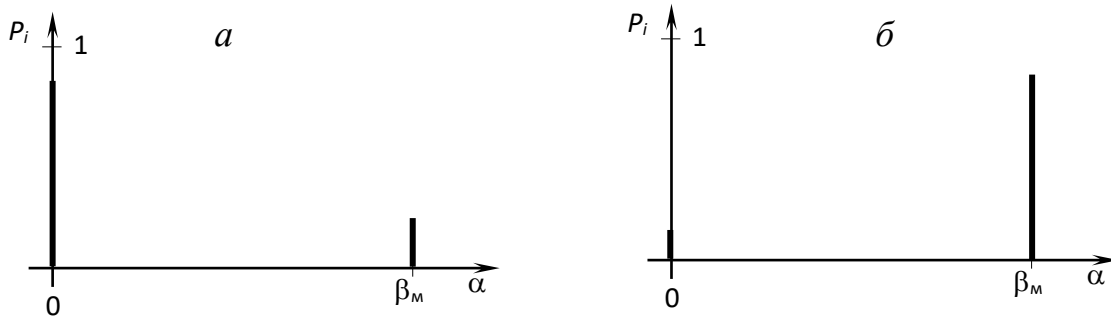


Рисунок 4.2 – Гистограммы массовой доли ценного компонента при покусковом опробовании:

*а* – для бедного продукта; *б* – для богатого продукта

Под массовой долей ценного (определяемого) компонента понимается отношение массы определяемого химического элемента или минерала в продукте к массе этого продукта. Представленные на рисунке 4.2 гистограммы (распределения) являются универсальными для любой руды, хвостов или концентрата, по этой причине они имеют для опробования фундаментальное значение.

Если в точечную пробу отбирать более одного куска, то число столбцов гистограммы изменится.

Высота столбцов гистограммы определится по формуле:

$$P_{m,n_T} = \frac{n_T!}{m!(n_T - m)!} \cdot P_M^m \cdot (1 - P_M)^{n_T - m}. \quad (4.1)$$

где  $\bar{m}$  – среднее число кусков минерала в пробе;  $n_T$  – число кусков, составляющих точечную пробу;  $P_{m,n_T}$  – доля проб, состоящих из  $n_T$  кусков, в которые попало  $m$  кусочков чистого минерала;  $P_M$  – числовая доля зерен минерала в опробуемом массиве.

Величина  $P_M$  определяется по формуле

$$P_M = \frac{\bar{m}}{n_T}. \quad (4.2)$$

Распределение массовой доли в точечных пробах, состоящих из  $n_T$  кусков, сохраняет свою асимметричность. Это распределение может быть рассчитано, но в связи с большим числом столбцов практические расчеты по формуле для  $P_{m,n_T}$  не выполняются.

Практические расчеты и принципиальные выводы можно сделать для важного частного случая, когда число  $n_T$  велико, т. е. – в точечную пробу отбирается много кусков, а число  $\bar{m}$  мало. В таком случае в точечную пробу попадает небольшое число кусков минерала. Следовательно, выполняется неравенство  $n_T \gg \bar{m}$ .

Выражение для  $P_{m,n_T}$  преобразуется:

$$P_{m,n_T} = \frac{n_T \cdot (n_T - 1) \cdot (n_T - 2) \dots (n_T - m)!}{m! (n_T - m)!} \cdot \left(\frac{\bar{m}}{n_T}\right)^m \cdot \left(1 - \frac{\bar{m}}{n_T}\right)^{n_T - m}. \quad (4.3)$$

$$\left(1 - \frac{\bar{m}}{n_T}\right)^{n_T} = e^{-\bar{m}}. \quad (4.4)$$

Так как  $n_T \gg \bar{m}$ , указанная формула приобретает вид

$$P_{m,n_T} = \frac{n_T^m}{m!} \cdot \frac{\bar{m}^m}{n_T^m} \cdot \left(1 - \frac{\bar{m}}{n_T}\right)^{n_T} = \frac{\bar{m}^m}{m!} \cdot e^{-\bar{m}}. \quad (4.5)$$

Распределение зависит только от величины  $m$  и может быть обозначено  $P_m$ :

$$P_m = \frac{\bar{m}^m}{m!} \cdot e^{-\bar{m}} \quad (4.6)$$

Полученная формула является расчетной формулой распределения Пуассона.

Число кусков минерала  $m$  может принимать любые целые значения от нуля и выше (0, 1, 2, 3 и т. д.). Среднее значение  $\bar{m}$  может быть дробным.

Распределения массовой доли для малых величин  $\bar{m}$  носят крайне асимметричный характер.

Предполагается, что в точечных пробах, отобранных от тщательно перемешанного массива, массовая доля ценного компонента будет различной, а ее распределения будут асимметричными. С целью экспериментальной проверки данного предположения взят искусственно созданный массив кварцевой крупки крупностью -3+1,4 мм, в который помещены цветные маркеры той же крупности. В ходе эксперимента методом квартования и с помощью желобчатого сократителя было отобрано по 50 точечных проб, в которых в среднем могло оказаться небольшое число маркеров. В каждой из точечных проб подсчитано число маркеров и найдены экспериментальные распределения (Э). Для каждого распределения найдено среднее число маркеров  $\bar{m}$ , которое должно было бы оказаться в каждой точечной пробе. По формуле Пуассона найдены теоретические значения распределений (Т). Распределения представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Экспериментальные и теоретические распределения маркеров в составе искусственной смеси

Условия			Число маркеров $m$ в точечных пробах					
			0	1	2	3	4	5
среднее число маркеров $\bar{m} = 0,4$	масса точечной пробы, г 80	Э	0,63	0,31	0,058	0	0	0
		T	0,67	0,27	0,054	0,007	0	0
$\bar{m} = 0,63$	100	Э	0,53	0,33	0,10	0,03	0	0
		T	0,53	0,33	0,11	0,02	0,003	0
$\bar{m} = 0,9$	120	Э	0,41	0,39	0,14	0,046	0,008	0
		T	0,39	0,37	0,17	0,053	0,012	0,002
$\bar{m} = 1,5$	140	Э	0,22	0,33	0,27	0,14	0,031	0,016
		T	0,22	0,34	0,25	0,13	0,047	0,014

#### 4.1.2. Экспериментальная оценка распределения массовой доли ценного компонента в точечных пробах

Показанные распределения имеют фундаментальное значение для понимания результатов опробования. В частности, точечные пробы (в том числе навески для анализа) принципиально различны: одна проба от другой пробы отличаются по массовой доле ценного компонента, причем в ряде случаев отличие весьма существенно. Так, в приведенной таблице 4.1 видно, что среди совершенно одинаковых по технологии отбора точечных проб могут быть отдельные пробы, не содержащие ни одного маркера, а также могут быть пробы, содержащие по 2 – 3 маркера и более.

Второй экспериментально подтвержденный вывод: распределения массовой доли ценного компонента в точечных пробах принципиально асимметричны и проверять их на нормальность не имеет смысла.

Экспериментальное определение распределения массовой доли ценного компонента в точечных пробах (навесках) выполнено на смеси кварца крупностью минус 0,1 мм и железных опилок крупностью -0,2+0,1 мм в работе [146]. Средняя массовая доля опилок составила 0,02 % (0,2 г опилок на 1000 г кварца). Сокращение перемешанной пробы квадратованием (80 микропорций) и способом линейки длиной 200 см (240 микропорций) показало, что в десяти параллельных навесках отклонения массовой доли опилок доходят до 70 % относительных.

Для экспериментального определения величин  $\bar{d}_3$  и  $b$  были выделены три класса крупности руды. В каждом классе крупности были отобраны 100 – 200 кусков и выполнить анализ массовой доли ценного компонента в каждом куске. После была определена экспериментальная величина покусковой дисперсии для каждого  $j$ -го класса крупности  $S_k^2(\bar{d}_j)$ . Далее была рассчитана покусковая дисперсия для раскрытой руды  $S_k^2(0)$ . После этого полученные

значения  $S_k^2$  для классов со средними размерами кусков  $\bar{d}_1$ ,  $\bar{d}_2$  и  $\bar{d}_3$  были нанесены на график (показан на рисунке 4.3) и через точки, соответствующие указанным значениям, проведена кривая. Через точку  $S_k^2(0)$  была проведена горизонтальная линия до пересечения с кривой  $S_k^2(\bar{d}_j)$ . Точка их пересечения соответствует среднему размеру зерен  $\bar{d}_3$ .

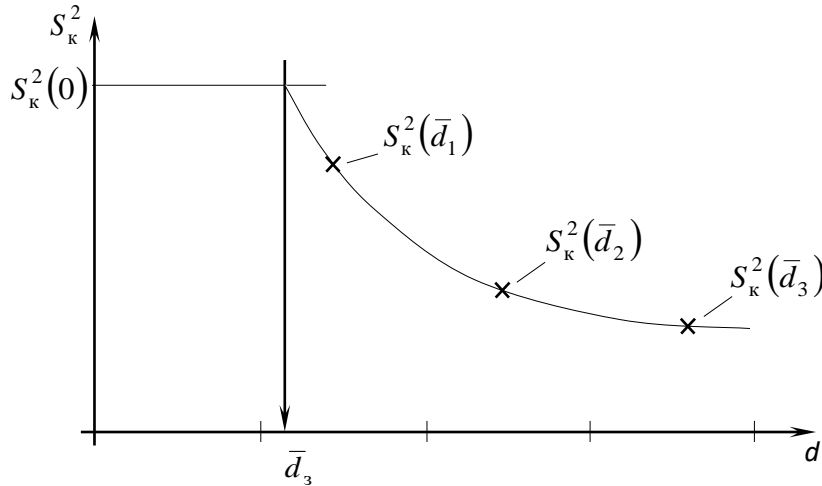


Рисунок 4.3 – График к экспериментальному определению величин  $\bar{d}_3$  и  $b$

Для определения величины  $b$  предложена формула

$$b = 3 - \frac{\lg S_k^2(0) - \lg S_k^2(\bar{d}_2)}{\lg \bar{d}_2 - \lg \bar{d}_3} \quad (4.7)$$

Экспериментально найденные величины  $\bar{d}_3$  и  $b$  позволяют принять их к расчету как средние для рассматриваемой руды.

Экспериментальная оценка размера  $\bar{d}_3$  и величины  $b$  выполнена на кусках асбестовой руды, имеющей слоистую текстуру. На пробах асбестовой руды крупностью минус 6 мм выделено три класса крупности: -6+3, -3+1,4 и -1,4+0,5 мм. От каждого класса крупности отобрано по 200 кусков. В каждом куске оценено значение массовой доли асбестового волокна и рассчитаны покусковые дисперсии. Эксперимент выполнен 25 раз. По результатам построена зависимость покусковой дисперсии от крупности. Установлено, что средний размер зерен в эксперименте  $\bar{d}_3$  (толщина слоев асбеста) равен 0,43 мм, а средний показатель  $b$  равен 2,36 – это близко к ожидаемому значению величины  $b$  для слоистых руд.

#### 4.1.3. Необходимость учета асимметричности распределения массовой доли ценного компонента в стандартах

Распределения массовой доли ценного компонента в точечных пробах продуктов обогащения принципиально асимметричны. Это следует из

неравенства числа кусков полезного минерала и породы. Для единственного устойчивого распределения массовой доли (при покусковом опробовании) получена фундаментальная формула покусковой дисперсии. При условии, что число кусков полезного минерала в пробе мало, для сокращенных проб получено распределение массовой доли массовой доли, подчиняющееся закону Пуассона.

Выполнено сравнение теоретических и экспериментально полученных распределений массовой доли, показавшее их незначимую разницу (проверка выполнена по  $\chi^2$  – критерию).

Покусковая дисперсия для сростков зависит от текстуры сростков (показатель  $b$ ) и размеров включений минералов (размер  $d_3$ ). Предложена методика экспериментального определения величин  $b$  и  $d_3$ , использованная на асбестовой руде, имеющей слоистую текстуру. Получено значение величины  $b = 2,36$ , соответствующее слоистой руде.

Методики опробования, расчета и анализа показателей работы на обогатительных фабриках разработаны в соответствии с отечественными и международными стандартами, в частности, ГОСТ 14180-80 [15]. Соответствующим отечественному стандарту ГОСТ 14180-80 является международный стандарт ISO 12743:2018 «Copper, lead, zinc and nickel concentrates-Sampling procedures for determination of metal and moisture content» [38] и дополняющие его стандарты по экспериментальным методам определения погрешностей ISO 12744:2006 (E) «Copper, lead, zinc and nickel concentrates-Experimental methods for checking the precision of sampling» [39], ISO 13292:2006 (E) «Copper, lead, zinc and nickel concentrates-Experimental methods for checking the bias of sampling» [40]. Разработанные на их основе методики опробования, в свою очередь, предусматривают снижение случайных погрешностей и, следовательно, предполагают нормальность распределения массовых долей определяемых компонентов в продуктах обогащения. Усложнения [197, 202] и упрощение [203] расчетов в опробовании на основе нормальности распределений массовой доли не приводят к разрешению проблем, связанных с асимметричностью распределений. Только подробный учет асимметричности приводит к реальным оценкам ситуации [198]. Развитие автоматических и механизированных систем контроля и опробования подтверждает данный вывод [76].

В практике работы обогатительных фабрик асимметричность распределений проявляется в появлении ураганных проб [133] и больших положительных невязок товарных балансов [102], а также в заметном числе параллельных анализов, разница массовых долей ценного компонента которых выходит за допустимые пределы [179, 204, 205]. Такие события требуют учета в методиках и стандартах на опробование асимметричности распределений массовых долей ценных компонентов в продуктах обогащения. Одно из первых предложений в этом направлении было сделано ранее [205], но так как это предложение было связано только с распределением допустимых значений случайных погрешностей, оно не отразило более сложную связь асимметрии распределений массовой доли с показателями работы обогатительных фабрик [106].

Асимметрия распределений массовых долей ценных компонентов в продуктах обогащения является массовым явлением, которое следует оценивать и учитывать при составлении методик опробования и в целом в практике работы обогатительных фабрик.

#### **4.2. Вероятная систематическая погрешность. Причины возникновения вероятной систематической погрешности результата опробования**

Число точечных проб в процессе опробования почти всегда ограничено возможностями операций подготовки объединенной пробы и технической целесообразностью. Каждая из точечных проб характеризуется своим значением массовой доли, который находится в известном диапазоне возможных значений от  $\alpha_{\max}$  до  $\alpha_{\min}$ . Вероятность каждого из значений массовой доли в точечных пробах различна. С наибольшей вероятностью значение массовой доли будет соответствовать моде распределения. В случае асимметричных распределений мода распределений и ее среднее значение не совпадают. Из этого следует, что с некоторой вероятностью возможна погрешность полученного опробованием результата. Так как знак этой погрешности постоянен, такая погрешность носит название *вероятной систематической погрешности (ВСП)* [6, 46, 50].

При правосторонней асимметрии мода меньше среднего значения, следовательно, вероятная систематическая погрешность будет отрицательной:

$$\Delta\alpha_{\text{всп}} = \alpha_{\text{мо}} - \bar{\alpha} < 0$$

Таким образом, при опробовании относительно бедных продуктов массовая доля компонента в них занижаются.

При опробовании относительно богатых продуктов массовая доля компонента в них завышается (рисунок 4.4 в).

Общая формула вероятной систематической погрешности позволяет оценить специфическую погрешность, которая возникает при отборе конечного числа точечных проб  $N_T$ :

$$\Delta\alpha = -\frac{S_{\alpha}^2}{\bar{\alpha} \cdot N_T}, \quad (4.8)$$

где  $S_{\alpha}^2$  – экспериментально найденная дисперсия массовой доли;  $\bar{\alpha}$  – среднее значение массовой доли;  $N_T$  – число точечных проб.

Существует функциональная связь между вероятной систематической и случайной погрешностью [6].

Вероятная систематическая погрешность для одной пробы рассчитывается по формуле

$$\Delta\alpha_{\text{всп}} = \frac{S_{\alpha}^2}{\bar{\alpha}}. \quad (4.9)$$

Относительная вероятная систематическая погрешность:

$$P_{\text{всп}} = \frac{\Delta\alpha_{\text{всп}}}{\bar{\alpha}} = \frac{S_{\alpha}^2}{\bar{\alpha}^2} = \frac{P_{\text{сл}}^2}{t^2} \approx \frac{P_{\text{сл}}^2}{4}. \quad (4.10)$$

В формулу величины  $P_{\text{всп}}$  и  $P_{\text{сл}}$  следует подставлять в долях единицы.

Из приведенных зависимостей следует, что обе погрешности, вызванные асимметричным распределением массовой доли в точечных пробах, имеют взаимную функциональную связь.

Случайная погрешность, записываемая как доверительные интервалы распределения результатов измерений, имеет переменный знак. Для симметричных распределений отклонения в разные стороны от среднего равновероятны. В этом случае доверительные интервалы для случайной погрешности определяются через критерий Стьюдента:

$$\Delta\alpha_{\text{сл}} = \pm t \cdot S_{\alpha}.$$

Для асимметричных распределений результатов измерений ситуация будет иная: при опробовании асимметрия вызвана физической сущностью процесса измерения, включающего в себя процедуры отбора пробы и сокращения (фактически, уменьшения массы пробы). Данная асимметрия приводит к появлению вероятной систематической погрешности, которая в числах зерен всегда равна (-1):

$$\Delta m_{\text{всп}} = -1.$$

В этом случае распределение Пуассона показывает, что при опробовании доверительные интервалы случайной погрешности таковы, что левая граница может уходить в область отрицательных значений [6, 56, 101]. Так как сама по себе описанная зависимость не имеет смысла, связь случайной погрешности с вероятной систематической должна быть такой, чтобы отрицательная граница доверительного интервала формировалась из двух составляющих: случайной и вероятной систематической:

$$-\Delta m_{\text{сл}} = -t\sqrt{m} + 1;$$

$$\Delta m_{\text{всп}} = -1.$$

При этом положительная граница имеет обычный вид:

$$+ \Delta m_{\text{ст}} = +t\sqrt{\bar{m}},$$

где  $\bar{m}$  – среднее число зерен материала, содержащих контролируемый компонент.

Для рассмотренной ситуации каждая из погрешностей не выходит за пределы положительных значений аргумента, а вероятности достижения отрицательной и положительной границ доверительного интервала не равны по модулю.

### **4.3. Практика обнаружения и количественного определения вероятной систематической погрешности при опробовании продуктов обогащения**

#### **4.3.1. Определение вероятной систематической погрешности**

При опробовании технологических потоков на обогатительных фабриках появляется ВСП. Указанная погрешность является новой, ее появление предсказано и обосновано в научной литературе, при этом ВСП не рассматривается действующими стандартами и нормативной документацией, регламентирующей процедуры опробования [6, 46, 50, 133, 134, 135, 172, 188, 206, 207]. В частности, все методические и технические решения, предусмотренные ГОСТ 14180-80 [15], не предусматривают учет ВСП и управление ею.

Существует два основных экспериментальных способа определения ВСП:

- последовательное опробование одного и того же продукта при условии предполагаемого отсутствия ВСП при выполнении одного из опробований;
- сопоставление среднего значения массовой доли ценного компонента и моды ее распределения по результатам обработки большого количества результатов опробования.

По имеющимся данным [3, 46, 134, 206, 207], значимые величины ВСП могут возникать при опробовании полиметаллических и золотосодержащих руд, а также продуктов их обогащения. Значимая ВСП присутствует и при опробовании ряда других минеральных полезных ископаемых, добываемых и перерабатываемых в больших объемах.

Примеры подтвержденного присутствия и отсутствия ВСП при опробовании указанных продуктов показаны ниже.

#### **4.3.2. Определение вероятной систематической погрешности путем выполнения последовательного опробования**

В качестве примера рассмотрено опробование исходных медно-никелевых руд ТОФ [3]. Применительно к опробованию исходных руд ТОФ возникновение ВСП может происходить вследствие дискретности отбора точечных проб. В этом



случае, как правило, в точечную пробу не попадают экстремальные значения (всплески) массовой доли ценных компонентов, направленные, преимущественно, в сторону ее увеличения. Такие всплески могут происходить в течение более коротких, чем период отбора точечных проб, промежутков времени (менее периода отбора точечных проб). В итоге, опробование может приводить к занижению массовой доли никеля, меди и кобальта в исходных рудах ТОФ. Характерной особенностью ВСП является то, что указанное занижение может не возникать в обязательном порядке, так как всплески массовой доли ценных компонентов в силу различных обстоятельств могут появляться или не появляться. Возникновение ВСП при опробовании может проявиться в виде ряда обстоятельств:

- появлении излишков ценных компонентов;
- появлении больших положительных невязок товарных балансов;
- расхождении результатов опробования одних и тех же продуктов с различной частотой отбора точечных проб.

Экспериментальная оценка ВСП на обогатительных фабриках не выполняется, даже с учетом факта ее доказанности и значимости влияния на результат опробования [3, 6, 206, 207].

Существующая на ТОФ автоматизированная линия опробования позволяет оценить наличие и величину возможной ВСП результата опробования. На ТОФ фактически имеются две точки последовательного опробования исходной руды: точка опробования крупнокусковой руды на линии опробования и точка опробования сгущенного продукта, направляемого на аэрацию перед основной медной флотацией [3, 5]. Точка опробования сгущенного продукта предусматривает опробование потока пульпы при помощи секторного пробоотборника с интервалом отбора точечных проб в 15 минут. Имеющиеся между указанными точками опробования стадия дробления, две стадии измельчения в замкнутом цикле с классификацией и операция сгущения сглаживают всплески массовой доли контролируемых металлов. По этой причине, не смотря на более низкую, чем на линии опробования, периодичность отбора точечных проб, опробование питания аэрации показывает массовую долю металлов ближе к истинной (с меньшей ВСП). Сравнительные результаты опробования исходных руд ТОФ по суточным значениям за период в восемь месяцев приведены в таблице 4.2: разница значений массовой доли никеля между двумя точками опробования изменяется в пределах от минус 3,70 до +2,52 % относительных, меди – в пределах от минус 1,78 до +1,12 % относительных.

Дополнительно сглаживает возможные колебания массовой доли эффект накопления продукта в сгустителе и его перемешивание. Поэтому значение массовой доли никеля и меди в сгущенном продукте, подаваемом на аэрацию, не испытывает значимых для результатов опробования возмущений. Это подтверждается анализом статистики опробования сгущенного продукта с интервалом в 15 минут, по результатам которого не зафиксировано систематических отклонений массовой доли никеля и меди на величину более 30 % относительных.

Принимая во внимание вероятностный характер ВСП и ее одностороннюю асимметрию, выражающуюся для исходной руды в систематическом занижении массовой доли, можно сделать вывод об отсутствии значимой ВСП для результата опробования на линии опробования. Это подтверждается изменением знака разницы результатов опробования по линии опробования и точке опробования сгущенного продукта: присутствует как занижение, так и завышение массовой доли меди и никеля за месяц. При этом даже существующее занижение массовой доли никеля и меди частично может быть отнесено на действие случайной погрешности результата опробования (по данным п. 3.5 настоящей работы: для меди 0,40 % и для никеля 0,44 %).

В качестве другого примера рассмотрены результаты опробования медно-цинковых руд.

Существующая схема опробования одной из секций медно-цинковой обогатительной фабрики также позволяет оценить ВСП при опробовании исходной руды, так как существуют две точки последовательного опробования: точка опробования слива стержневой мельницы и точка опробования питания колонной флотационной машины, которое является питанием коллективной флотации.

Имеющиеся между указанными точками опробования две стадии измельчения и классификации сглаживают всплески массовой доли, и опробование питания колонной флотационной машины показывает массовую долю меди и цинка ближе к истинным, то есть, с меньшей ВСП. Выборка результатов опробования по двум указанным точкам опробования за два месяца работы обогатительной фабрики представлена в Приложении II.

Рассчитанные ВСП по руде представлены в таблице 4.3. Относительная ВСП для опробования исходной руды на сливе стержневой мельницы составила за два месяца по меди минус 7,80 % и по цинку минус 2,53 %.

Таблица 4.2 – Сравнительные результаты опробования исходных руд ТОФ на никель и медь  
(на основании суточных результатов)

Номер месяца	Опробование на линии опробования		Опробование сгущенного продукта		Разность результатов для линии опробования			
	массовая доля никеля, %	массовая доля меди, %	массовая доля никеля, %	массовая доля меди, %	по массовой доле абсолютная, %		по массовой доле относительная, %	
					по никелю	по меди	по никелю	по меди
1	2,03	2,90	2,07	2,94	-0,04	-0,04	-1,97	-1,38
2	1,98	2,67	1,98	2,64	0	+0,03	0	+1,12
3	2,16	2,94	2,24	2,97	-0,08	-0,03	-3,70	-1,02
4	1,99	2,75	1,96	2,75	+0,03	0	+1,51	0
5	2,06	2,78	2,05	2,80	+0,01	-0,02	+0,48	-0,72
6	2,10	2,83	2,12	2,81	-0,01	+0,02	-0,48	+0,71
7	2,00	2,81	2,04	2,86	-0,04	-0,05	-2,00	-1,78

Таблица 4.3 – Относительные вероятные систематические погрешности опробования  
по меди и цинку для исходной медно-цинковой руды

Определяемый элемент	Первый месяц			Второй месяц			Относительная ВСП за два месяца, %
	Массовая доля в исходной руде, %		Относительная ВСП, %	Массовая доля в исходной руде, %		Относительная ВСП, %	
	Слив стержневой мельницы	Питание флотации		Слив стержневой мельницы	Питание флотации		
Медь	1,672	1,794	-7,00	1,617	1,768	-8,60	-7,80
Цинк	3,833	3,863	-0,80	4,265	4,449	-4,26	-2,53

Полученные данные означают, что при ручном опробовании и расчете балансов обогатительной фабрики по сливу стержневой мельницы на рассматриваемой секции окажутся скрытые излишки за два месяца: по меди 7,8 % и по цинку 2,53 %. При переводе в абсолютные значения через производительность секции это выражается в следующие скрытые излишки:

- по меди за первый месяц 80 т и за второй месяц 76 т;
- по цинку за первый месяц 23 т и за второй месяц 99 т.

### 4.3.3. Определение вероятной систематической погрешности путем построения распределения массовой доли ценного компонента

Пример построения распределения массовой доли золота в исходном сырье ЗИФ и определения ВСП на основе данного распределения приведен ниже.

На рисунке 4.5 приведено распределение массовой доли золота в исходном сырье ЗИФ по 298 сменным результатам опробования за период в пять календарных месяцев.

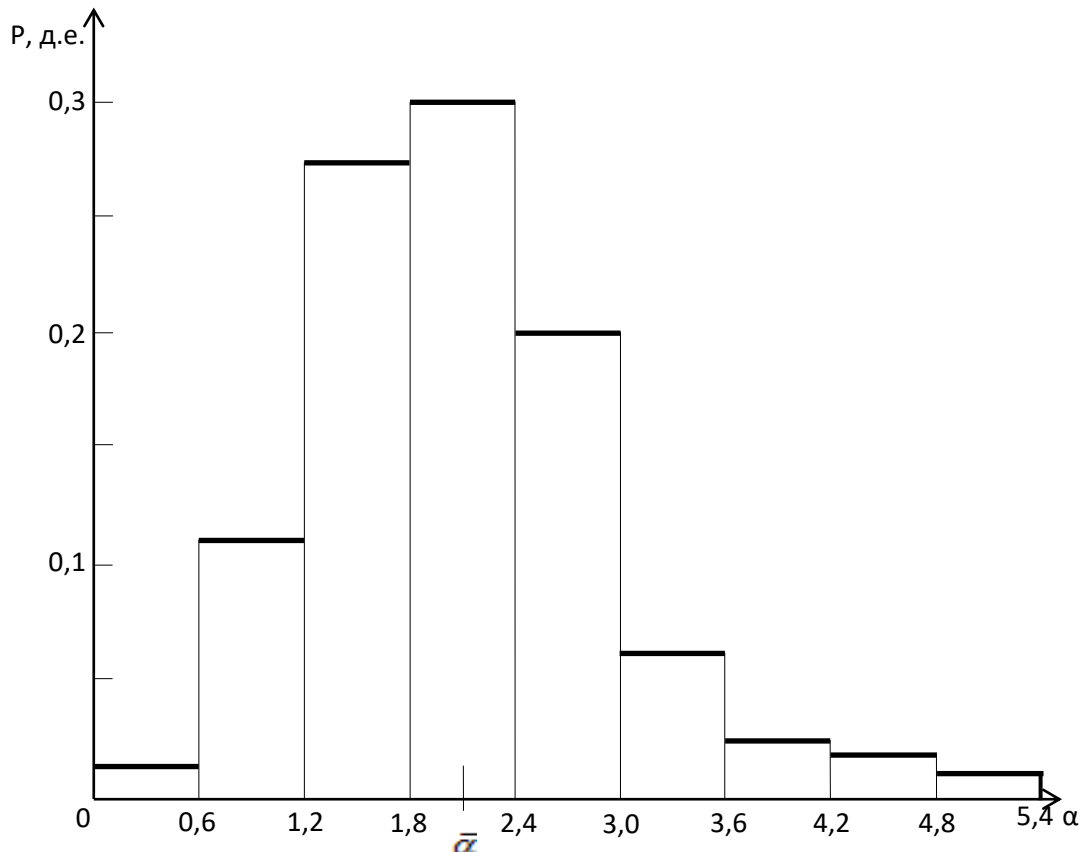


Рисунок 4.5 – Распределение массовой доли золота в исходном сырье ЗИФ

Среднее значение массовой доли золота за пять месяцев  $\bar{\alpha} = 2,06$  г/т, дисперсия  $S_{\alpha}^2 = 0,848$  (г/т)<sup>2</sup> ( $S_{\alpha} = 0,92$  г/т).

Для ЗИФ сменный результат опробования может быть получен двумя способами:

- анализ на золото выполняется один раз в смену для объединенной пробы из шести точечных проб, отбираемых с периодичностью в два часа;
- анализ на золото выполняется шесть раз в смену для каждой из точечных проб, отбираемых с периодичностью в два часа.

Величина ВСП при одном анализе пробы исходного сырья в смену составит

$$\Delta\alpha_{\text{всп}} = -\frac{S_{\alpha}^2}{N_{\text{т}} \cdot \alpha} = -\frac{0,848}{1 \cdot 2,06} = -0,41 \text{ г/т.}$$

Это означает, что сменный результат опробования исходного сырья ЗИФ может быть смещен в среднем на минус 0,41 г/т.

Если в смену отбирается и анализируется шесть точечных проб, то ВСП составит

$$\Delta\alpha_{\text{всп}} = -\frac{0,848}{6 \cdot 2,06} = -0,07 \text{ г/т.}$$

Так как для исходного сырья ЗИФ возможны оба приведенных способа получения сменного результата опробования, средняя величина ВСП составит

$$\Delta\alpha_{\text{всп}} = \frac{-0,41 + (-0,07)}{2} = -0,24 \text{ г/т.}$$

Для схемы обогащения ЗИФ выполнен корреляционный анализ [137, 147] связи массовой доли золота в питании флотации и в исходном сырье (рисунок 4.6).

На поле корреляции (298 точек за пять месяцев) приведены необходимые для анализа результатов линии:

1. Линия 1 – массовая доля золота в питании флотации при плановом извлечении в гравитационном цикле 70 %, т. е. формула линии  $\alpha_{\text{ф}} = 0,3\alpha$ .

2. Линии 2 – границы возможного допустимого положения массовых долей золота в питании флотации с учетом погрешностей опробования, т. е. – формулы линий  $\alpha_{\text{доп}} = \alpha_{\text{ф}} \pm \Delta\alpha_{\text{ф}}$ . Здесь  $\Delta\alpha_{\text{ф}}$  найдено исходя из существующей погрешности опробования.

3. Линия 3 – предельно допустимые значения массовой доли в питании флотации  $\alpha_{\text{пред}} = \alpha$ , т. е. – это линия с наклоном 45°.

Особенности рассматриваемого поля корреляции:

- в 28 сменах из 298 (9,4 %) массовая доля золота в питании флотации превышает массовую долю золота в руде, что с технологической точки зрения невозможно;

- в 46 сменах из 298 (15,4 %) массовая доля золота выходит за пределы, допустимые погрешностями опробования.

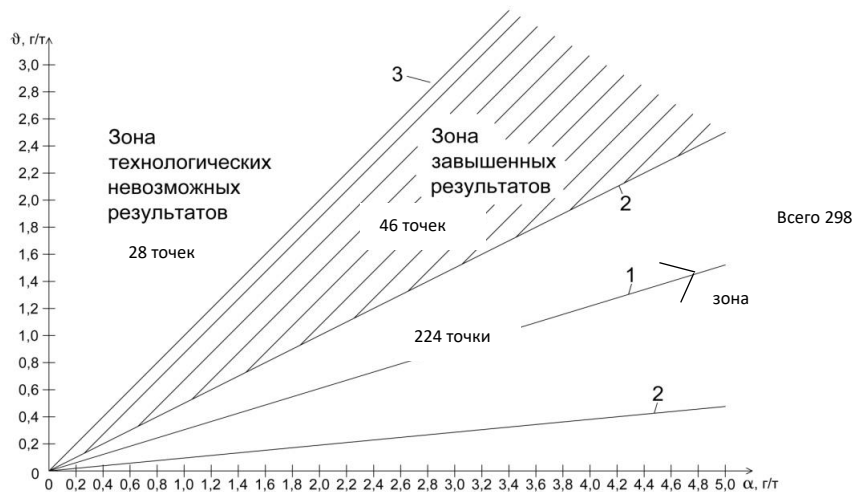


Рисунок 4.6 – Границы зон разных результатов на поле корреляции массовой доли золота в питании флотации и в исходном сырье ЗИФ

Все 74 выделяющихся результата (24,8 %) свидетельствуют о возможном влиянии ВСП на результат опробования. Среднее смещение точек выделяющихся результатов от верхней границы допустимых значений массовой доли золота (верхняя линия 2) составило минус 1,3 г/т. В целом за пять месяцев в среднем за смену смещение составило минус 0,32 г/т.

Найденное двумя путями вероятное систематическое смещение составляет в среднем

$$\frac{-0,24 + (-0,32)}{2} = -0,28 \text{ г/т.}$$

Это составляет 13,6 % от значения массовой доли в исходном сырье ЗИФ (2,06 г/т).

Таким образом, ВСП результата опробования продуктов обогащения ЗИФ может составлять до минус 0,28 г/т.

Величина ВСП не учитывается при выполнении опробования согласно требований действующей нормативной документации и при правильном расчете товарного баланса приводит к необъяснимым положительным невязкам товарного баланса [42, 46, 102, 172].

В сводной таблице 4.4 приведены значения ВСП для сменных (двухчасовых – для концентратов) результатов опробования продуктов обогащения.

Таблица 4.4 – Значения вероятной систематической погрешности для сменных результатов опробования продуктов обогащения

Наименование продукта	Крупность, мм	Вероятная систематическая погрешность, %		Средняя массовая доля оксида хрома, %
		абсолютная	относительная	
Руда	-160+10	0	0	28
	-10+0	+1,2	+3,0	39,8
Концентраты	-160+10	+0,7	+1,5	48,1
	-3+0	+0,4	+0,8	50,6
Хвосты	-160+10	-1,0	-23,0	4,4
	шламы	-1,0	-3,6	27,8

#### **4.4. Практика обнаружения и количественного определения вероятной систематической погрешности при опробовании продуктов обогащения в схеме «поставщик-потребитель»**

##### **4.4.1. Определение и учет вероятной систематической погрешности в схеме поставки товарного концентрата на основании распределений массовой доли ценного компонента**

Установлено, что результаты совместного опробования товарного медного концентрата обогатительной фабрики, выпускающей медный концентрат с попутным содержанием золота, соответствуют теоретическим представлениям о завышении массовой доли при опробовании для богатых продуктов (медный концентрат по меди) и занижении массовой доли при опробовании для бедных продуктов (медный концентрат по золоту). Данная закономерность подтверждается при поставках товарного медного концентрата с обогатительной фабрики в адрес двух потребителей: условного потребителя № 1 и условного потребителя № 2 (таблицы 4.5 и 4.6):

**1. Поставка в адрес потребителя № 1:**

- медный концентрат по результатам опробования у поставщика в среднем на 0,12 % богаче, чем по результатам опробования у потребителя;
- массовая доля золота в медном концентрате по результатам опробования у поставщика в среднем на 1,54 г/т меньше, чем по результатам опробования у потребителя;
- массовая доля серебра в медном концентрате по результатам опробования у поставщика в среднем на 1,77 г/т меньше, чем по результатам опробования у потребителя.

**2. Поставка в адрес потребителя № 2:**

- медный концентрат по результатам опробования у поставщика в среднем на 0,187 % богаче, чем по результатам опробования у потребителя;

- массовая доля золота в медном концентрате по результатам опробования у поставщика в среднем на 0,34 г/т меньше, чем по результатам опробования у потребителя;

- массовая доля серебра в медном концентрате по результатам опробования у поставщика в среднем на 0,35 г/т меньше, чем по результатам опробования у потребителя.

Таблица 4.5 – Результаты опробования товарного медного концентрата по партиям при поставке в адрес потребителя № 1

Определяемый ценный компонент	Размерность	Результаты опробования по партиям			
		обогащительная фабрика*	потребитель № 1	разность результатов	
				по партиям	средняя
Медь	%	18,93	18,64	- 0,29	- 0,12
		19,36	18,90	- 0,46	
		19,23 (19,69)	19,21	- 0,02	
		18,81 (19,67)	18,87	+ 0,06	
		19,02 (19,67)	19,01	- 0,01	
		19,12 (19,67)	19,11	- 0,01	
Золото	г/т	16,23	17,65	+ 1,41	+ 1,54
		19,40	18,82	- 0,58	
		19,47	23,06	+ 3,59	
		17,24	19,50	+ 2,26	
		20,44	20,29	- 0,15	
		23,27	26,13	+ 2,76	
Серебро	г/т	32,77	36,93	+ 4,16	+ 1,77
		38,32	38,55	+ 0,23	
		35,07	39,19	+ 3,52	
		37,50	39,51	+ 2,01	
		39,34	41,28	+ 1,94	
		33,14	31,91	- 1,23	

\* – в скобках приведены результаты по сменным пробам при опробовании для ведения технологического процесса обогащительной фабрики

Разница в результатах опробования медного концентрата по меди укладывается в допустимый интервал случайной погрешности по отдельным партиям для потребителя № 1 (таблица 4.5). Разница в результатах опробования по золоту в среднем превышает допустимый интервал случайной погрешности в 1,4 – 2,4 раза (таблица 4.6). Также установлено, что существует разница в результатах опробования одного и того же медного концентрата при поступлении на склад обогащительной фабрики и по результатам повагонного опробования при отгрузке потребителю (таблица 4.7). Результаты расчета параметров опробования товарного медного концентрата при различном объеме партий поставки для потребителя № 1 и № 2 приведены в Приложении III.

Для разности результатов опробования отдельных партий у поставщика и потребителя доверительные интервалы будут больше рассчитанных в  $\sqrt{2}$ .



Таблица 4.6 – Результаты опробования товарного медного концентрата по партиям при поставке в адрес потребителя № 2

Определяемый ценный компонент	Размерность	Результаты опробования по партиям			
		обогащительная фабрика	потребитель № 1	Разность результатов	
				по партиям	средняя
Медь	%	18,58	18,784	+ 0,204	– 0,187
		18,57	18,36	– 0,207	
		18,17	18,212	+ 0,042	
		19,94	19,614	– 0,326	
		18,94	18,627	– 0,313	
		18,12	17,863	– 0,257	
		18,15	18,148	– 0,002	
		17,91	17,626	– 0,284	
		18,03	17,635	– 0,395	
		18,97	18,729	– 0,241	
		18,31	18,012	– 0,298	
		18,31	18,012	– 0,298	
		18,16	18,098	– 0,062	
Золото	г/т	12,91	13,217	+ 0,309	+ 0,34
		15,31	17,823	+ 2,513	
		16,61	19,012	+ 2,402	
		22,77	23,106	+ 0,336	
		24,64	24,658	+ 0,018	
		23,8	23,841	+ 0,041	
		22,5	22,039	– 0,461	
		22,43	21,676	– 0,754	
		22,44	22,154	– 0,286	
		16,73	16,481	– 0,249	
		20,12	20,087	– 0,033	
		20,12	20,087	– 0,033	
		14,50	15,123	+ 0,623	
Серебро	г/т	21,74	25,382	+ 3,642	+ 0,35
		20,77	21,851	+ 1,081	
		23,59	24,533	+ 0,943	
		32,68	30,886	– 1,794	
		26,60	27,832	+ 1,232	
		27,83	27,015	– 0,815	
		26,05	26,257	+ 0,207	
		24,83	25,241	+ 0,411	
		27,50	27,421	– 0,079	
		28,13	26,350	– 1,78	
		28,55	29,033	+ 0,483	
		28,55	29,033	+ 0,483	
		28,78	29,386	+ 0,606	

Таблица 4.7 – Сравнительные результаты опробования медного концентрата при поступлении на склад и при отгрузке со склада

Определяемый ценный компонент	Размерность	Результаты опробования по партиям		
		При поступлении на склад	При отгрузке со склада	Разность результатов
Медь	%	18,47	17,91	– 0,56
		18,74	18,44	– 0,30
		18,23	18,03	– 0,20
Золото	г/т	21,00	22,43	+ 1,43
		19,96	19,99	+ 0,03
		22,54	22,93	+ 0,39
Серебро	г/т	25,64	24,83	– 0,81
		23,02	23,06	+ 0,04
		26,10	27,50	+ 1,40

В таблице 4.5 для некоторых партий медного концентрата наряду с результатами опробования для составления технологического и товарного балансов показаны результаты анализа сменных проб для ведения технологического процесса (в скобках). Результаты анализа проб для ведения процесса демонстрируют еще большее завышение массовой доли меди, чем результаты опробования для составления балансов.

Приведенные данные позволяют сделать выводы о значимом влиянии ВСП на результаты опробования. Причиной появления ВСП является эффект локального снижения фактического качества медного концентрата по меди, при котором массовая доля меди в процессе получения концентрата периодически уменьшается относительно заданного значения. В результате появляется вероятность не отразить в точечных пробах локальные точки снижения массовой доли меди.

Подтверждением существования локальных точек снижения качества медного концентрата по меди являются результаты опробования технологического концентрата при помощи автоматического пробоотборника, отбирающего точечные пробы с интервалом в несколько минут. Характер зависимости массовой доли меди от времени в получаемом технологическом концентрате проиллюстрирован на рисунке 4.7. Значения массовой доли меди на приведенном графике регистрировались по результатам опробования за период в два часа. В результате зафиксировано систематическое снижение массовой доли меди до величины менее 18 % с периодичностью от пяти часов и экстремальное снижение до величины менее 13 %. Продолжительность периода снижения составила от 2 до 12 часов. При этом необходимо учитывать, что проба, получаемая один раз в два часа, является накопленной по результатам отбора точечных проб автоматическим пробоотборником и фактически усредняет все колебания массовой доли за период накопления. Таким образом, изменение качества технологического концентрата может происходить на величину, большую указанной, за меньшие периоды времени, однако это не может быть отражено при существующей периодичности получения результата опробования.

Разница в результатах опробования медного концентрата по меди и по золоту при поставках партий в адрес потребителя № 2 не выходит из допустимого интервала случайной погрешности по отдельным лотам и составляет от него в среднем не более 30 % по меди и менее 10 % по золоту (таблица 4.6).

Для опробования медного концентрата по существующей на обогатительной фабрике схеме количественная оценка ВСП может быть выполнена для операций подготовки пробы и отбора проб от технологических циклов:

#### 1. Подготовка проб:

Согласно теоретическим положениям, ВСП, выраженная в зернах, содержащих контролируемый компонент, равна единице с отрицательным знаком [6, 50]. Отсюда относительная ВСП подготовки навески будет рассчитана по следующей формуле [6]:

$$P_{\text{всп}} = -\frac{\Delta m}{\bar{m}} \cdot 100 \% = -\frac{1}{\bar{m}} \cdot 100 \% .$$

Величина *ВСП подготовки проб для золота в медном концентрате* может быть рассчитана через число частиц золота в навеске  $\bar{m}$ .

При известной крупности частиц золота в навеске  $\bar{d}_{\text{нав}} = 0,06$  мм среднее число частиц золота  $\bar{m}$  в навеске массой 25 г будет определяться по следующей формуле:

$$\bar{m} = \frac{q \cdot \alpha}{f \cdot \rho_m \cdot (\bar{d}_{\text{нав}})^3 \cdot \beta_m} = \frac{0,025 \cdot 20}{0,5 \cdot 18000 \cdot (0,06 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 10^6} = 257 .$$

Отсюда

$$P_{\text{всп}} = -\frac{1}{\bar{m}} \cdot 100 = -\frac{1}{257} \cdot 100 = -0,4 \% .$$

$$\Delta \alpha = -0,08 \text{ г/т} .$$

Величина *ВСП подготовки проб для меди в медном концентрате* рассчитывается по той же зависимости, но с положительным знаком.

Аналогичный расчет для меди выполнен с учетом равномерного истирания до крупности 0,071 мм всех минералов навески массой 0,5 г:

$$\bar{m} = \frac{q \cdot \alpha}{f \cdot \rho_m \cdot (\bar{d}_{\text{нав}})^3 \cdot \beta_m} = \frac{0,0005 \cdot 18,2}{0,5 \cdot 4100 \cdot (0,036 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 34,6} = 2835760 .$$

Массовая доля меди, %

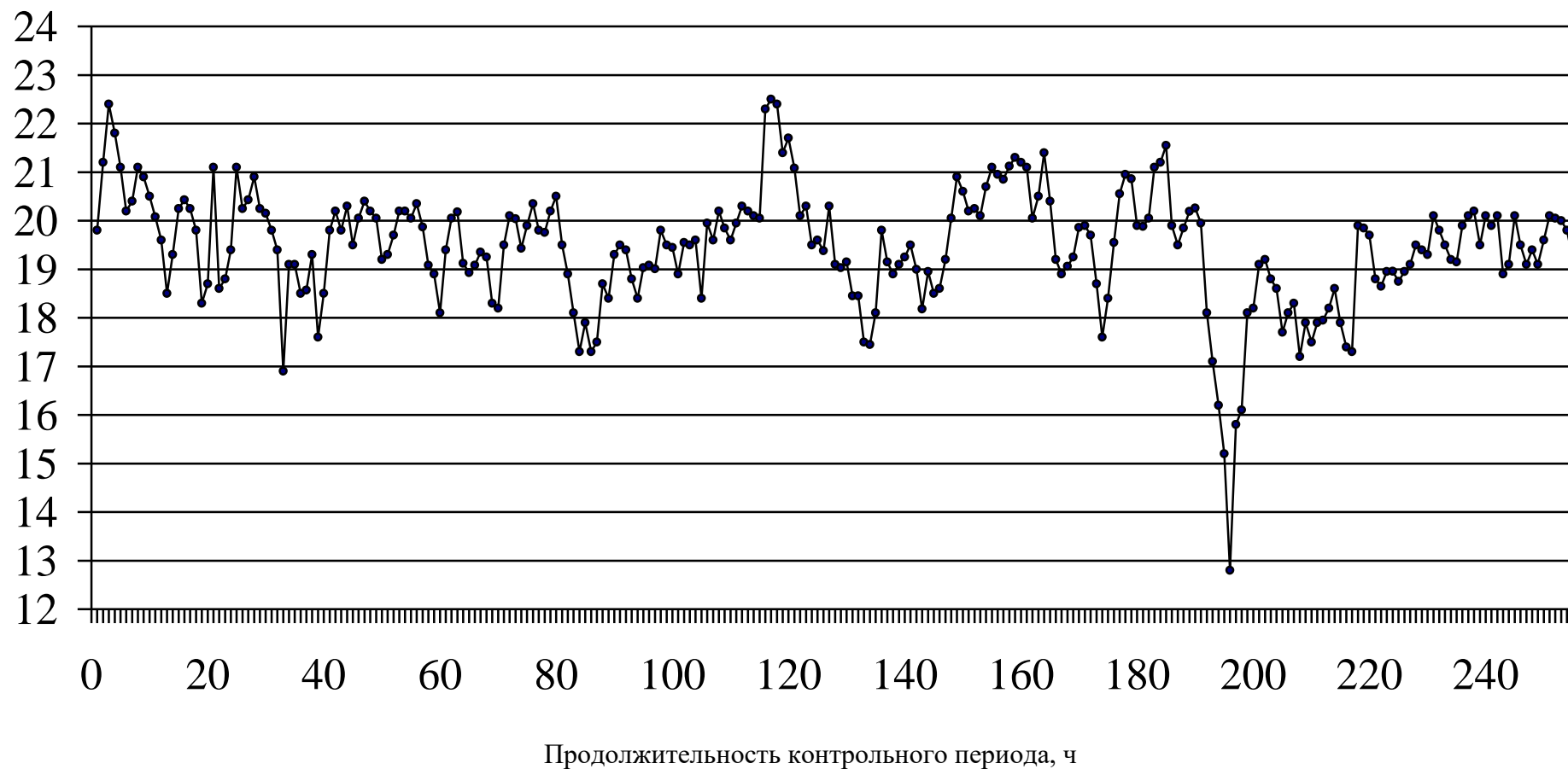


Рисунок 4.7 – Изменение массовой доли меди в технологическом концентрате  
(периодичность опробования – два часа)

Тогда

$$P_{\text{ВСП}} = \frac{1}{\bar{m}} \cdot 100 = \frac{1}{2835760} \cdot 100 = 0,00003 \text{ \%}.$$

$$\Delta\alpha = 0,000006 \text{ \%}.$$

## 2. Отбор проб от технологических партий:

Расчет ВСП для операции отбора проб от технологической партии медного концентрата выполняется в соответствии с существующей теоретической зависимостью:

$$\Delta\alpha = -\frac{S_{\alpha}^2}{\bar{\alpha} \cdot N_T},$$

где  $S_{\alpha}^2$  – экспериментально найденная дисперсия массовой доли;  $\bar{\alpha}$  – среднее значение массовой доли;  $N_T$  – число точечных проб.

Расчет в данном случае правильнее будет провести по экспериментальной зависимости, представленной на рисунке 4.7, приняв за число точечных проб число двухчасовых результатов опробования ( $N_T = 130$ ). Учитывая характер экспериментальной зависимости, свидетельствующий о систематическом занижении качества концентрата, ВСП в данном случае будет иметь положительный знак как для богатого продукта (медь в медном концентрате), так и для бедного продукта (золото в медном концентрате).

*Величина ВСП отбора проб для золота в медном концентрате:*

$$\Delta\alpha = \frac{S_{\alpha}^2}{\bar{\alpha} \cdot N_T} = \frac{5^2}{20 \cdot 130} = 0,01 \text{ г/т}.$$

*Величина ВСП отбора проб для меди в медном концентрате:*

$$\Delta\alpha = \frac{S_{\alpha}^2}{\bar{\alpha} \cdot N_T} = \frac{2,5^2}{18,2 \cdot 130} \cong 0,003 \text{ \%}.$$

*Общая ВСП для золота в медном концентрате:*

$$\Delta\alpha = -0,08 + 0,01 = -0,07 \text{ г/т}.$$

*Общая ВСП для меди в медном концентрате:*

$$\Delta\alpha = -0,000006 + 0,003 \cong 0,003 \text{ \%}.$$

Для указанных партий концентрата рассчитаны случайные погрешности опробования.

*Относительная случайная погрешность результата опробования партии:*

$$P_{\text{Cu}} = \sqrt{P_{\text{от}}^2 + P_{\text{под}}^2 + P_{\text{ан}}^2} = \sqrt{0,71^2 + 0,0004^2 + 0,16^2} = 0,73 \% ;$$

$$P_{\text{Au}} = \sqrt{3,72^2 + 0,29^2 + 0,52^2} = 3,77 \% .$$

*Доверительные интервалы для случайных погрешностей опробования партий:*

$$\Delta\alpha_{\text{Cu}} = \frac{P_{\text{Cu}} \cdot \alpha_{\text{Cu}}}{100} = \frac{0,73 \cdot 18,2}{100} = \pm 0,131 \% ;$$

$$\Delta\alpha_{\text{Au}} = \frac{3,77 \cdot 20}{100} = \pm 0,75 \text{ г/т} .$$

Значения ВСП рассчитаны для результата опробования одного технологического цикла медного концентрата или партии поставки. По сравнению с величиной случайных погрешностей опробования значения ВСП могут считаться незначимыми. При этом, принимая во внимание постоянный знак ВСП, поставщик будет систематически занижать массовую долю золота в пробах своего медного концентрата на 0,07 г/т, а по меди – систематически завышать массовую долю на 0,003 %. Для партий медного концентрата, формируемых из технологических циклов, величина ВСП, как статистической погрешности, будет меньше в  $\sqrt{N}$ , где  $N$  – число технологических циклов.

Эффекты систематического изменения массовой доли ценных компонентов по знаку соответствуют систематическим отклонениям, зафиксированным между поставщиком и потребителем.

#### **4.4.2. Определение и учет вероятной систематической погрешности в схеме поставки концентрата на основании результатов последовательного опробования**

В качестве примера ниже рассмотрены случаи из практики опробования золотосодержащих концентратов при условии выполнения требований ГОСТ 14180-80 [6, 15].

Результаты опробования в качестве первого примера приведены ниже.

Партия концентрата гравитационного отделения ЗИФ была последовательно опробована несколько раз:

1. На самой ЗИФ при отгрузке организации-покупателю.
2. Повторно покупателем для проверки (подтверждения) массовой доли золота и согласования условий поставки.

3. Сторонней инспектирующей организацией, приглашенной для контроля правильности опробования (на некоторых предприятиях является распространенной практикой).

4. На предприятии-переработчике концентрата.

По условиям поставки в первых трех случаях отбор проб и их подготовка выполнены по полной схеме, начиная с отбора проб и заканчивая получением рабочей и контрольной пробы. Параметры опробования были идентичны по числу проб, используемому инструменту и оборудованию. Число проб от партии при каждом опробовании – 55, масса начальной пробы – от 45 до 62 кг.

В четвертом случае (у переработчика) число точечных проб от партии составило 970 (механический сократитель), масса начальной пробы – 69 кг.

Полученные результаты опробования:

1. ЗИФ – 540 г/т.
2. Покупатель – 1553 г/т.
3. Инспектор – 1010 г/т.
4. Переработчик – 829 г/т.

По результатам было принято решение об использовании контрольных проб. Полученные результаты по контрольным пробам:

1. ЗИФ – 660 г/т.
2. Покупатель – 1601 г/т.
3. Инспектор – 1070 г/т.
4. Переработчик – 840 г/т.

По причине несогласия с переработчиком первая и вторая организация настояли на повторном опробовании всей партии совместной четырехсторонней комиссией. Опробование выполнялось по единой методике первых трех сторон с отбором 55 проб.

Результат по рабочей пробе составил 300 г/т, по контрольной – 353 г/т.

Согласованным результатом по партии был выбран контрольный результат, полученный общей комиссией – 353 г/т.

После «закрытия» поставки по согласованному комиссией результату переработчик для контроля собственной технологии переработки выполнил опробование еще раз (950 проб, масса начальной пробы 67 кг), получив результат 866 г/т. По металлургическому балансу отдельной переработки указанной партии концентрата массовая доля золота в нем составила 894 г/т. Важно, что информация о результатах переработки (894 г/т) становилась доступна только потребителю.

Принятые решения по результатам опробования:

1. ЗИФ – уволить начальника ОТК.
2. Покупатель – увеличить число своих специалистов на опробовании с двух до четырех человек. Настоять на использовании у переработчика своей методики опробования (55 проб) взамен использования механического сократителя. При несогласии переработчика отказаться от механизированного опробования требовать присутствия представителей покупателя и инспектора при выполнении опробования.

3. Инспектор – отстранить от работы по опробованию сотрудника, выполнявшего опробование в составе четырехсторонней комиссии; далее при выполнении подобных инспекционных работ вести видеозапись процедуры опробования; инспекционный протокол подписывать не начальнику инспекционного отдела драгоценных металлов, а заместителю директора; работы по опробованию выполнять в первую очередь, перед опробованием в интересах ЗИФ и покупателя; на случай выполнения опробования в темное время суток снабдить сотрудника дополнительным налобным фонарем.

4. Переработчик – выразил намерение продолжать совместную работу со всеми тремя сторонами; с требованием ЗИФ и покупателя на присутствие при работе механического сократителя инспектора с видеокамерой и фонарем согласился.

Другие результаты последовательного опробования золотосодержащего концентрата приведены ниже во втором примере.

После повторения указанных в первом примере ситуаций три первых участника работы с концентратом настояли на отказе от опробования на механическом сократителе на предприятии-переработчике, заменив его на опробование по своей схеме (55 проб).

После были получены следующие результаты опробования:

1. ЗИФ – 426 г/т.
2. Покупатель – 603 г/т.
3. Инспектор – 490 г/т.
4. Переработчик – 667 г/т.

По металлургическому балансу – 402 г/т.

Принятые решения:

1. ЗИФ – наказать начальника аналитической лаборатории.
2. Покупатель – организовать присутствие своего представителя при выполнении анализа в аналитической лаборатории ЗИФ и инспектора.
3. Инспектор – представителя покупателя в свою лабораторию не пустил.
4. Переработчик – предложил выполнять расчеты за партию концентрата по результатам переработки (по металлургическому балансу).

В обоих примерах большинство расхождений массовой доли золота значительно превышают допустимый диапазон случайной погрешности (~ 10 % относительных с учетом всех трех этапов получения результата).

Очевидно, что причиной получения большого разброса результатов является погрешность, не учтенная методикой опробования.

Также очевидно, что принятые первыми тремя участниками работ решения улучшению процесса опробования не способствуют (преимущественно ошибочны и просто абсурдны), а подчиненная позиция переработчика не определяет действия в схеме «поставщик-потребитель-переработчик».

При понимании причин возникновения ВСП результаты опробования в указанных примерах крайне показательны. Приняв за истинный результат массовую долю, рассчитанную по итогам составления баланса, можно видеть, что опробование с отбором большего числа проб более достоверно, нежели



опробование с меньшим числом проб (при этом масса одной пробы в первом случае была почти в десять раз меньше, чем при отборе 55 проб). Расчет среднего значения массовой доли по пяти контрольным пробам в первом примере дает результат 905 г/т, а расчет по десяти пробам (всем рабочим и контрольным пробам) дает массовую долю золота 876 г/т. Таким образом, данные результаты получены по результатам анализа пяти и десяти лабораторных проб соответственно, сформированных из 275 проб, отобранных от концентрата. Полученные результаты близки к истинному результату (894 г/т), а также к результату, полученному при отборе 970 проб (829 и 840 г/т) в пределах случайной погрешности.

Подтверждением наличия в результатах опробования именно ВСП являются несколько факторов:

- завышение массовой доли золота при небольшом числе проб при опробовании концентрата (экстремальные значения массовой доли в концентратах имеют отрицательную тенденцию);

- примерное соответствие одного из результатов опробования с небольшим числом проб истинному результату во втором примере (вероятностный характер ВСП).

#### **4.5. Устранение влияния вероятной систематической погрешности при опробовании продуктов обогащения.**

##### **Условие достоверного опробования**

Практика внедрения на обогатительных фабриках рабочей документации, созданной на базе систем менеджмента качества, показала необходимость повышения требований к достоверности процессов опробования [34, 35]. В первую очередь данные требования касаются представительности оперативного контроля исходного сырья и готовой продукции, а также минимизации невязки товарного баланса по ценным компонентам. Одним из требований является выполнение опробования продуктов обогащения в соответствии с утвержденными стандартами.

Термин «достоверное опробование» и его производные периодически используются в рабочей документации обогатительных фабрик в качестве условия получения результата опробования [5, 6, 25, 26, 28, 29, 32, 41, 57, 58, 101, 105, 136]. Понятие достоверности опробования связано с величиной случайной погрешности его результата.

Фактическая случайная погрешность результата опробования должна быть по абсолютной величине менее некоторой границы, называемой доверительным интервалом (пределом воспроизводимости).

На горно-обогатительных и горно-металлургических предприятиях накоплен большой опыт применения действующих стандартов. В частности, на ряде обогатительных фабрик проводится периодическая проверка соответствия процессов отбора и подготовки проб требованиям соответствующих ГОСТов [6,

11, 12, 14, 15, 16, 19, 21, 24]. Соответствие контролируется по основным характеристикам процесса опробования и параметрам устройства оборудования для отбора и подготовки проб [5]. Перечень возможных пунктов контроля приведен ниже:

1. Процесс опробования:

- число (периодичность отбора) точечных проб;
- масса (объем) точечной пробы;
- минимальная масса пробы после сокращения объединенной пробы;
- отсутствие изменения состава пробы в процессе отбора и подготовки.

2. Оборудование для опробования:

- соответствие ширины щели пробоотсекателя максимальной крупности опробуемого продукта;
- соответствие объема пробоотсекающих инструментов и накопительных емкостей объему точечной (накопленной) пробы;
- соответствие длины щели пробоотсекателя ширине потока опробуемого продукта;
- механическая исправность оборудования.

При обнаружении того или иного несоответствия оно должно быть устранено [5, 6, 7, 95]. Дополнительно проводятся работы по балансовому учету всех входящих и выходящих продуктов процессов обогащения. Согласно положениям системы менеджмента качества, внедренной на многих предприятиях, соответствие процессов опробования стандартам и балансовый учет всех продуктов обогащения должны обеспечить достоверное определение массовой доли ценного компонента и минимальную величину невязки товарного баланса, не превышающую установленную норму [6, 46].

В таблице 4.8 приведены невязки товарных балансов по ценному компоненту для нескольких обогатительных фабрик. В таблице 4.9 показаны невязки товарных балансов тех же обогатительных фабрик после выполнения мероприятий по приведению системы опробования в соответствие с требованиями ГОСТ 14180-80 [15]. Мероприятия сводились к механизации процесса отбора точечных проб, обеспечению необходимого числа точечных проб и их сохранности.

На большинстве обогатительных фабрик значимый и системный эффект от проведения всех указанных мероприятий отсутствует. Значимая ВСП возникает при периодическом отборе проб. Особенность появления локальных экстремальных значений состоит в том, что изменение массовой доли направлено в одну сторону: на хвостах обогащения – в сторону увеличения массовой доли, на богатых концентратах – в сторону уменьшения массовой доли, на исходных рудах – преимущественно в сторону увеличения массовой доли. Поэтому в случае возникновения локальных изменений средняя массовая доля в объединенной пробе хвостов и, как правило, руды, имеет тенденцию к занижению (на самом деле хвосты и руда богаче), а в богатых концентратах – к завышению (на самом деле богатые концентраты беднее).

Иллюстрацией процесса локального появления экстремальной массовой доли ценного компонента является периодическая регистрация на обогатительных фабриках ураганных проб [5, 6, 46, 102, 133].

На ЗИФ в течение 50 смен по 12 часов отбор проб от потока отвальных хвостов выполнялся способом поперечного пересечения с интервалом в один час, а также выполнялся отбор проб от того же потока с минимальным интервалом в несколько секунд. При отборе проб каждый час массовая доля золота в хвостах за месяц составила 0,499 г/т, а при отборе проб с минимальным интервалом массовая доля золота оказалась выше – 0,527 г/т. Разница в массовой доле золота в хвостах за месяц составила +0,028 г/т (5,3 % относительных). По данным почасового опробования за 50 смен на ЗИФ зафиксированы пять ураганных часовых проб. Периодичность появления таких проб составила не более одной пробы в смену. Так, например, в течение трех смен в хвостах ЗИФ фиксируется относительно постоянная массовая доля золота, характерная для штатного режима работы ЗИФ. Но во второй смене в четвертый час получен ураганный результат опробования, составляющий 4,94 г/т (таблица 4.10). Важно, что процедура опробования на ЗИФ полностью соответствует требованиям ГОСТ 14180-80.



Таблица 4.9 – Невязки товарных балансов обогатительных фабрик после проведения мероприятий по приведению системы опробования в соответствие с требованиями стандарта

Месяц	Невязки товарного баланса, %																
	Медь		Цинк		Свинец		Золото (ОФ № 1)		Золото (ОФ № 2)		Серебро						
	за месяц	предельная за период	за месяц	предельная за период	за месяц	предельная за период	за месяц	предельная за период	за месяц	предельная за период	за месяц	предельная за период					
1	+1,0		-2,6		-0,9		+5,2		-12,6		-3,2						
2	-1,7		-3,9		+0,8		+4,5		+6,8		-1,0						
3	+4,2		-3,9		+0,4		+0,8		-6,7		-0,6						
4	+5,7		-4,8		+1,1		+2,8		-7,9		+4,9						
5	+11,2		-6,9		+0,2		+10,9		-7,9		+5,2						
6	+2,5		+0,4		+0,7		+3,8		-7,2		+4,9						
7	+3,4		-4,1		+0,8		+2,6		-11,1		+8,2						
8	+0,7		-4,1		+0,6		+1,0		-12,0		+7,4						
9	+2,5	+11,2	-5,0	+0,4	-2,9	-6,9	-0,2	+2,0	-2,9	+10,9	-3,9	-9,0	+6,8	-12,6	+6,7	+8,2	-3,2
10	-1,1	-1,7	-6,0		+1,3		+1,3		-3,9		-9,2						
11	-1,1		-3,4		+1,2		+1,2		-1,4		-9,2						
12			-3,3		+2,0		+2,0				-9,2						
13			-3,6		+0,4		+0,4										
14					+1,2		+1,2										
15					+0,9		+0,9										
16					+1,0		+1,0										
17					-2,4		-2,4										
18					+1,6		+1,6										
Меро- прия- тия	1. Установлена постоянная периодичность ручного отбора проб исходной руды. 2. Исключено изменение состава отобранных проб. 3. Число точечных проб доведено до требуемого				1. Введен в эксплуатацию автоматический пробоотборник на исходной руде (питание процесса). 2. Число точечных проб доведено до требуемого				1. Введен в эксплуатацию автоматический пробоотборник на исходной руде (питание процесса). 2. Исключено изменение состава отобранных проб								

Таблица 4.10 – Массовая доля золота в хвостах ЗИФ  
при почасовом отборе проб в течение смены

Номер смены	Массовая доля золота, г/т											
	Номер часа в смене											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,48	0,48	0,49	0,45	0,44	0,48	0,50	0,45	0,46	0,43	0,50	0,49
2	0,48	0,51	0,48	<b>4,94</b>	0,52	0,60	0,52	0,51	0,53	0,53	0,53	0,54
3	0,55	0,49	0,48	0,50	0,50	0,52	0,48	0,50	0,50	0,47	0,54	0,51

На основании имеющихся параллельных результатов опробования предложен алгоритм определения числа ураганных проб, массовой доли золота в них и продолжительности появления определяющих эти пробы значений массовой доли [208].

Пусть имеется контрольный период опробования  $T$ , в течение которого отбирается  $N$  точечных проб (рисунок 4.8). Интервал отбора точечных проб  $\Delta t = T / N$  [87]. В течение контрольного периода возникает  $n_b$  ураганных значений массовой доли – «всплесков». Продолжительность «всплеска»  $\Delta\tau_b$ , амплитуда  $\Delta\alpha_b$ ,  $\alpha_n$  – массовая доля за контрольный период без учета ураганных проб.

Средняя массовая доля  $\bar{\alpha}$  за контрольный период составит:

$$\bar{\alpha} = \alpha_n + \Delta\alpha_b \cdot \frac{n_b \cdot \Delta\tau_b}{N \cdot \Delta t}. \quad (4.11)$$

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»  $\alpha_n + \Delta\alpha_b$  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:

$$\alpha_p = \alpha_n + \Delta\alpha_b \cdot \frac{n_o}{N}. \quad (4.12)$$

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

$$\Delta\alpha = \alpha_p - \bar{\alpha} = \Delta\alpha_b \cdot \left( \frac{n_o}{N} - \frac{n_b \cdot \Delta\tau_b}{N \cdot \Delta t} \right). \quad (4.13)$$

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

$$\Delta\alpha = -\Delta\alpha_b \cdot \frac{n_b \cdot \Delta\tau_b}{N \cdot \Delta t}. \quad (4.14)$$

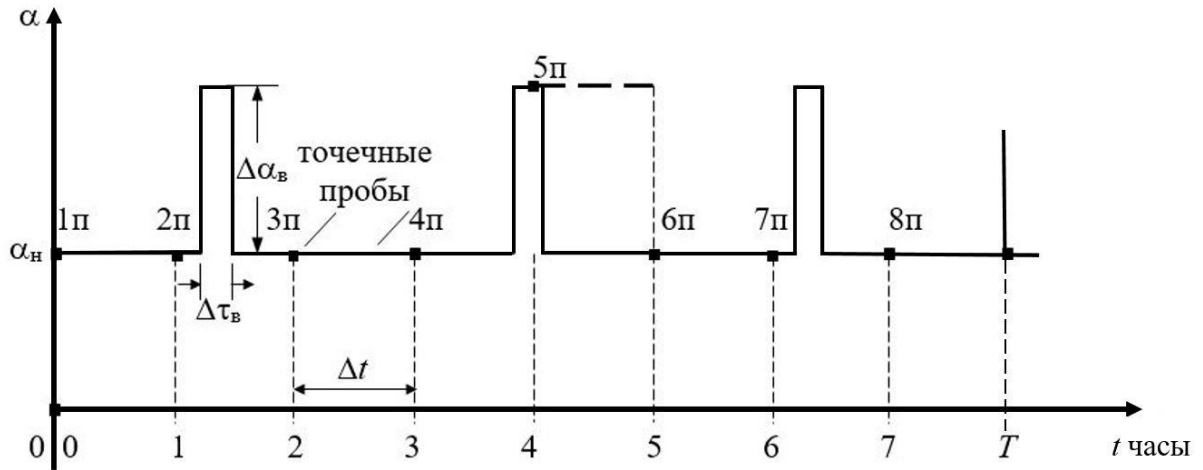


Рисунок 4.8 – Изменение массовой доли  $\alpha$  в течение контрольного периода  $T$ :  
 $(1n - 8n)$  – номера часовых точечных проб

С изменением  $n_0$  от 0 до  $n_b$  величина  $\Delta\alpha$  будет изменяться в соответствии с формулой (4.11). Неучтенный пробой «всплеск» за короткий контрольный период ( $n_b = 1$  или 2), приводит к занижению массовой доли в соответствии с формулой (4.12), 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 определяться учтенным «всплеском». Так как соотношение  $\Delta\tau_b / \Delta t$  является малой величиной, из формулы (4.11) при  $n_0 = n_b$  следует, что

$$\Delta\alpha \approx \Delta\alpha_b \cdot \frac{n_b}{N}. \quad (4.15)$$

Массовая доля за короткий период будет сильно завышена.

Если «всплески» не учитывать в пробах за большой контрольный период, в котором «всплесков» много, это приведет к значительному 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. Теоретические выводы, сделанные ранее [6, 133], это подтверждают: до некоторого предела по величине контрольного периода ураганные пробы следует исключать из расчета, а при превышении этого предела – принимать к расчету.

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

Отсюда

$$N = 100 \cdot \frac{\Delta\alpha_b}{\alpha_n}. \quad (4.16)$$

Если  $\frac{\Delta\alpha_B}{\alpha_H} = 2$ , то  $N = 200$ , а если  $\frac{\Delta\alpha_B}{\alpha_H} = 10$ , то  $N = 1\ 000$ .

При почасовом опробовании ( $\Delta t = 1$  час) длинным контрольным периодом будет  $T = 200 - 1000$  часов, а при 10-минутном –  $T = 33 - 166$  часов.

Отсюда формулируется общая закономерность: чем больше  $\Delta t$ , 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  $\Delta\alpha = 0,01 \alpha_H$  будет найден по формуле

$$\Delta t = \frac{T}{100} \cdot \frac{\alpha_H}{\Delta\alpha_B}. \quad (4.17)$$

Расчет средней массовой доли золота в хвостах ЗИФ за 50 смен приводит к другим результатам: среднее значение массовой доли при почасовом отборе проб, без учета ураганных проб, занижено по сравнению с результатами отбора проб комбинированным способом на 5,3 %, а с их учетом практически совпадает (различие менее 0,6 % относительных).

Так как за 50 смен доля обнаруженных в точечных пробах и использованных в расчете «всплесков» полностью компенсирует влияние пропущенных «всплесков», можно рассчитать общее число «всплесков» за месяц из условия формулы (4.11), полагая  $\Delta\alpha = 0$ :

$$n_B = n_o \cdot \frac{\Delta t}{\Delta\tau_B}. \quad (4.18)$$

Средняя продолжительность  $n_o = 5$  обнаруженных при почасовом отборе проб ( $\Delta t = 60$  мин.) «всплесков» составила 12,1 мин. Следовательно, число «всплесков» за 50 смен на ЗИФ составило

$$n_B = 5 \cdot \frac{60}{12,1} = 24,8.$$

Результат означает, что в течение 50 смен возникало 25 «всплесков» – по одному каждые две смены. Если бы ураганные пробы не были включены в расчет, массовая доля золота в хвостах за 50 смен была бы занижена на 5,3 %. Включение же в расчет пяти обнаруженных «всплесков» такое занижение компенсирует. В итоге на ЗИФ не возникнет положительная невязка товарного баланса [46, 102].

Случайная погрешность опробования для указанной массовой доли золота в хвостах за большой контрольный период при усреднении 600 – 700 проб будет незначительной (не более 1,5 % относительных). Это позволяет считать величину +5,3 % экспериментально установленной ВСП.



Предложенный алгоритм учета ураганных проб позволяет определить временной интервал отбора точечных проб в условиях изменения массовой доли ценного компонента. В таблице 4.11 приведены результаты расчета по формуле (4.17) интервала отбора точечных проб, обеспечивающего достоверный учет колебаний массовой доли ценного компонента. Расчеты выполнены для отвалных хвостов и исходных руд различных обогатительных фабрик. Для указанных продуктов характерно систематическое появление положительных «всплесков» массовой доли ценного компонента различной величины. Расчет основан на зафиксированных при текущем опробовании за сутки ( $T = 1440$  минут) «всплесках» массовой доли, которые могут быть отнесены к ураганным пробам. Необходимый интервал отбора точечных проб  $\Delta t$  рассчитан для относительной погрешности определения  $\Delta\alpha$  1,00 %, 0,50 % и 0,25 % ( $\Delta\alpha = 0,01\alpha_n$ ;  $\Delta\alpha = 0,005\alpha_n$ ;  $\Delta\alpha = 0,0025\alpha_n$ ).

При анализе приведенных результатов обращает на себя внимание несоответствие существующего интервала отбора точечных проб  $\Delta t_{\text{суц.}}$  и рассчитанного интервала  $\Delta t$ . Условием достоверного опробования в данном случае будет зависимость  $\Delta t_{\text{суц.}} \leq \Delta t$ . Это условие при опробовании на обогатительных фабриках не выполняется. Так, например, для получения достоверного результата опробования хвостов обогащения медно-цинковых руд с относительной случайной погрешностью 1 % необходимые интервалы отбора точечных проб составили две минуты для меди и три минуты для цинка. При этом на действующей обогатительной фабрике интервал отбора точечных проб от хвостов обогащения составляет 60 минут.

Таблица 4.11 – Результаты расчета интервала отбора точечных проб для достоверного учета массовой доли ценного компонента

Ценный компонент/ продукт обогащения	Массовая доля без учета ураганных проб $\alpha_n$	Амплитуда зафиксированного «всплеска» $\Delta\alpha_b$	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/исх. руда	6,30 г/т	30,12 г/т	3	1,5	0,8	5
Свинец/исх. руда	1,68 %	5,88 %	4	2,1	1,1	30
Медь/исх. руда	2,42 %	4,10 %	8	4,3	2,2	30
Цинк/исх. руда	0,69 %	3,20 %	3	1,6	0,8	30

Таким образом, для достоверного определения массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения необходимо использовать короткие интервалы времени между отбором точечных проб величиной от нескольких минут до долей минуты. Переход к коротким интервалам времени между отбором точечных проб возможен только при одновременном с отбором сокращении точечных проб. Важно, что расчет интервала времени между отбором точечных проб возможен по результатам текущего опробования на обогатительной фабрике без проведения дополнительных исследований и выполнения дополнительных анализов.

Отбор точечных проб через рассчитанные короткие интервалы времени позволяет устранить влияние ВСП на результат опробования.

## 4.6. Методическая погрешность результата опробования

### 4.6.1. Условия возникновения методической погрешности опробования

Асимметрия распределений массовой доли в точечных пробах приводит к эффекту, связанному с алгоритмом использования результатов анализа (методикой анализа).

Для исключения возможных ошибок во всех методиках анализа предусматривается выполнение анализа на двух и более параллельных навесках, после чего рассчитывается разность результатов. Полученная разность сравнивается с заранее найденным пределом воспроизводимости (повторяемости)  $R$  и  $r$  (обозначения по ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002) [35].

Если полученная разность  $\Delta\alpha$  превышает этот предел, необходимо выполнить анализы на новых параллельных навесках, после чего сравнить разность новых результатов и т. д.

В большинстве нормативных документов, регламентирующих процедуру анализа [6, 63, 65, 140, 211], установлен следующий алгоритм обработки результатов:

1. Если расхождение между результатами параллельных определений превышает допустимое значение расхождения, проводится повторное определение.

2. Если расхождение между результатами, полученными по двум навескам при первоначальных определениях, и двум навескам при повторных определениях, превышает допустимое, то из четырех результатов отбрасываются максимальная и минимальная величины и за окончательный результат анализа принимается среднее арифметическое двух оставшихся значений.

Указанный алгоритм основан на предположении, что различие  $\Delta\alpha$  вызвано случайными погрешностями, распределенными по нормальному закону, не допуская, что возможно не нормальное, а асимметричное распределение самой определяемой массовой доли в анализируемых навесках.

Принципиально важным в стандартном алгоритме обработки результатов является возможное отбрасывание (исключение, «браковка») результатов анализа с последующим расчетом медианы.

В случае, если бы распределения массовой доли носили нормальный характер, то исключаемые результаты, среди которых могут быть и истинные, имели бы разные знаки. В этом случае определяемое по стандартному алгоритму среднее значение в среднем было бы правильным. Однако если распределение асимметрично, исключаются преимущественно истинные результаты, превышающие правую границу предела воспроизводимости для правоасимметричных распределений, для левоасимметричных распределений – превышающие по абсолютной величине левую границу. Тогда получаемый результат в среднем оказывается заниженным для правоасимметричных распределений (бедные продукты) и завышенным для левоасимметричных (богатые продукты). В результате появляется *методическая погрешность*.

Причиной возникновения методической погрешности, как и вероятной систематической, является асимметрия распределения массовой доли в точечных пробах. Однако величина методической погрешности непосредственно связана с алгоритмом обработки результатов анализа: алгоритмом расчета и величиной предела воспроизводимости.

Предел воспроизводимости – доверительный интервал для расхождения результатов анализов устанавливается на основе испытаний методики выполнения измерений (МВИ). При этом испытания МВИ дают только среднеквадратичную погрешность. Предел испытаний устанавливается для определенной доверительной вероятности и может быть увеличен или уменьшен. Снижение предела воспроизводимости повышает требования к получаемым результатам, однако это увеличивает долю исключаемых («бракуемых») результатов анализа и тем самым повышает вероятность появления методической погрешности.

В качестве примера рассмотрены результаты анализа медного концентрата на одной из обогатительных фабрик на медь и золото. Обработка результатов анализа в данном случае выполняется по алгоритму, альтернативному показанному на рисунке 4.9.

Анализ проб медного концентрата выполняется в соответствии с ГОСТ 15934.1-91 для меди и ГОСТ 15934.10-82 для золота [209, 210]. Анализ на медь выполняется методом титрования на навесках массой 0,5 г, анализ на золото выполняется методом атомной абсорбции на навесках массой 25 г.

В перечисленных нормативных документах указано, что максимальные расхождения между результатами анализа параллельных навесок не должны превышать заданных абсолютных допустимых пределов расхождения при доверительной вероятности 95 %. При этом порядок действий при превышении допустимых пределов расхождения (оставшиеся 5 %) в ГОСТ 15934.1-91 и ГОСТ 15934.10-82 не предлагается.

Алгоритм обработки результатов анализа устанавливается действующим ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 [35]. Оценка результатов анализа проб медного

концентрата выполняется по алгоритму, отличающемуся от установленного в ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002. Отличие заключается в выполнении сопоставления средних значений двух определений по двум параллельным анализам и расчетом среднего арифметического значения. При получении неудовлетворительного результата сопоставления к расчету среднего принимаются только три анализа. Дополнительным может быть пятый анализ, но могут сопоставляться по тройкам и первые четыре. В итоге могут быть исключены из расчета (отбракованы) до четырех имеющихся результатов анализов из пяти, а сам расчет может выполняться с увеличенным удельным весом пятого результата анализа. Существующий алгоритм получения результата анализа представлен на рисунке 4.9.

На рисунке 4.10 представлены характерные примеры исключения результатов анализов навесок на медь согласно существующему алгоритму. Установлено, что особенностью существующего алгоритма является непостоянная граница отбраковки, при этом граница отбраковки может привести к исключению как больших, так и меньших значений результатов анализа. Также установлено, что в редких случаях отбраковка результатов проходит при двух действующих границах. В этом случае расчет эффекта отбраковки должен выполняться по формуле, исключая опорное значение.

Исходя из вышеизложенного, для расчета методической погрешности анализа используется следующая зависимость:

$$\Delta\alpha_{\text{мет}} = -P_+ \cdot \overline{\Delta\alpha}_+ + P_- \cdot \overline{\Delta\alpha}_-,$$

где  $P_+$  и  $\overline{\Delta\alpha}_+$  – доля и среднее отклонение от опорного результатов, отбрасываемых по верхней границе;  $P_-$  и  $\overline{\Delta\alpha}_-$  – доля и среднее отклонение от опорного результатов, отбрасываемых по нижней границе.

Например, установлено, что за один из месяцев в ходе выполнения анализа на медь из 577 результатов было получено 453 удовлетворительных результата. Всего за указанный период был выполнен анализ 2370 навесок. Таким образом, число отброшенных анализов составило:

- по верхней границе – 115 (доля  $P_+ = 0,048$ );
- по нижней границе – 50 (доля  $P_- = 0,021$ ).

*Среднее отклонение отбрасываемых результатов составило:*

$$\overline{\Delta\alpha}_+ = 0,2 \% \text{ и } \overline{\Delta\alpha}_- = 0,5 \% .$$

*Методическая погрешность анализа меди:*

$$\Delta\alpha_{\text{мет}} = -0,048 \cdot 0,2 + 0,021 \cdot 0,5 = +0,0009 \% .$$

Оценка возможной методической погрешности анализа на золото выполнена на основании проверки стабильности результатов работы ПАЛ по картам Шухарта. Для примера в таблице 4.12 приведены результаты обработки карт Шухарта за шесть месяцев.

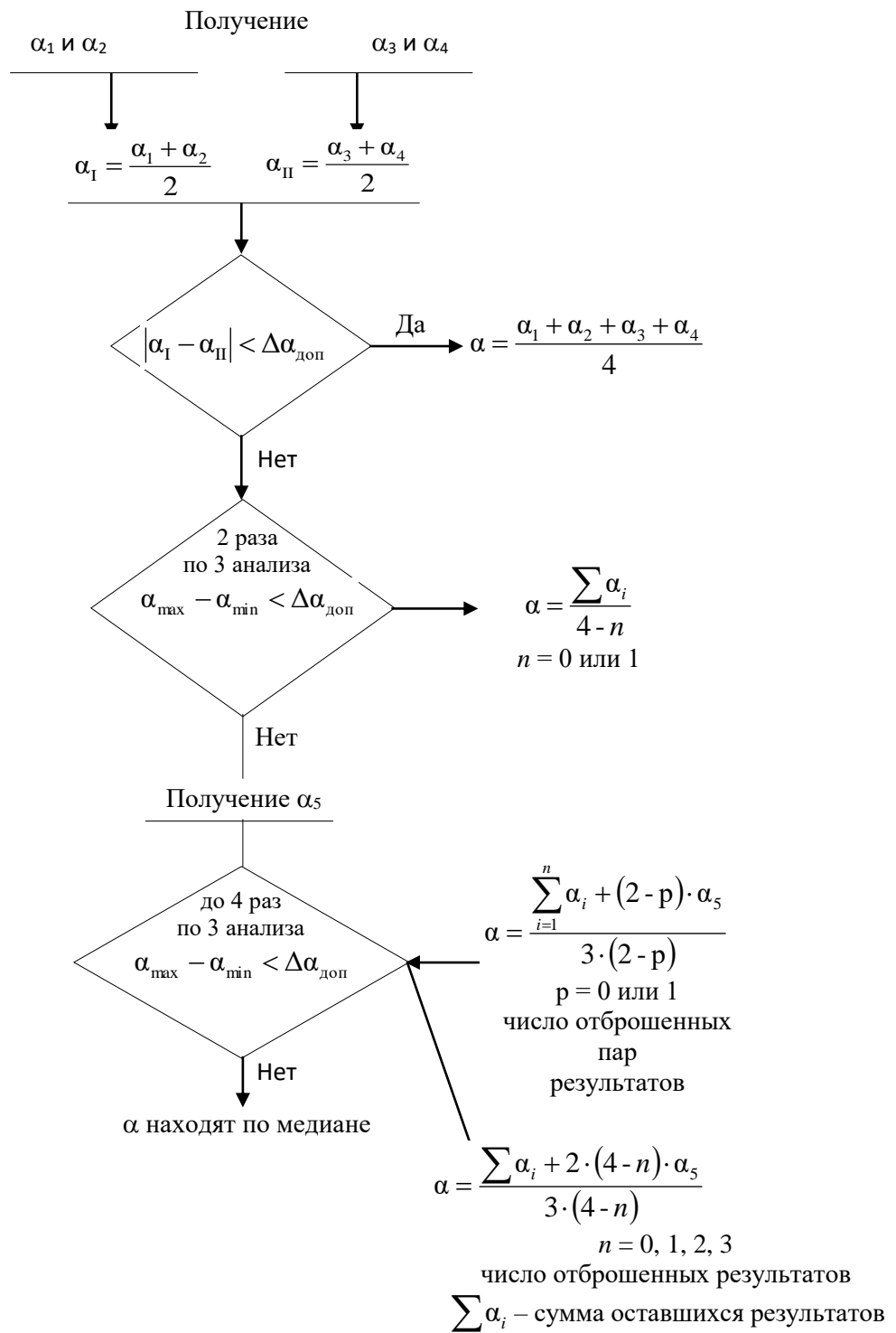


Рисунок 4.9 – Существующий алгоритм получения результата анализа медного концентрата на медь и золото

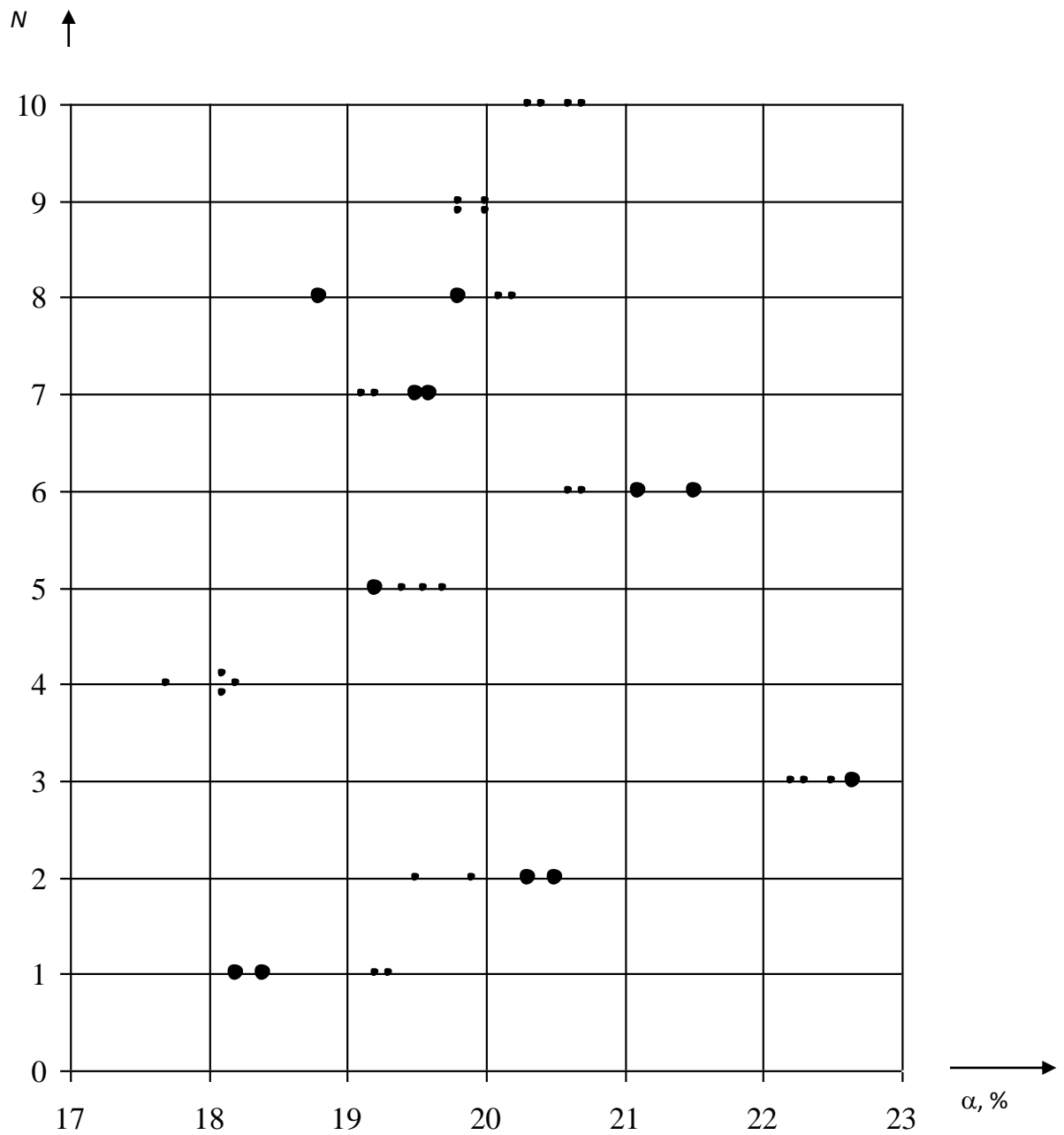


Рисунок 4.10 – Характерные варианты исключения результатов анализа меди:

- – анализы  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  и  $\alpha_4$ ; ● – исключенные анализы  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  и  $\alpha_4$ ;
- $N$  – номер характерного варианта отбраковки

Из данных таблицы 4.12 следует, что исключение результатов анализа приводит к завышению массовой доли золота на величину от 0,16 до 0,35 г/т (примерно на 1 % относительный).

Таблица 4.12 – Результаты оценки методической погрешности анализа на золото в аналитической лаборатории

Месяц	Число контрольных результатов	$P_+$	$P_-$	$\overline{\Delta\alpha}_+$ , г/т	$\overline{\Delta\alpha}_-$ , г/т	$\Delta\alpha_{мет}$ , г/т
Январь	103	0,029	0,068	5,2	5,6	+ 0,23
Февраль	34	0,059	0,118	4,0	5,0	+ 0,35
Март	74	0	0,04	0	4,0	+ 0,16
Апрель	26	0,077	0	3,0	0	- 0,23
Май	–	0	0	0	0	0
Июнь	40	Анализ не исключался. Выполнялся дополнительный анализ, с учетом которого находилось среднее значение				

#### 4.6.2. Дополнительные условия возникновения методической погрешности

Возникновение методической погрешности может происходить также из-за принятого алгоритма учета ураганных проб.

Понятие ураганной пробы известно достаточно широко [6, 43, 46, 50, 60, 68, 77, 103, 133, 142, 143, 144]. На основании представлений о нормальных распределениях вероятности, рекомендуется считать ураганными те пробы, массовые доли ценного компонента в которых отличаются от средней массовой доли большинства проб на величину более трех среднеквадратичных отклонений. При этом практический опыт отнесения проб к ураганным может приводить к решениям иного характера. Так, например, в ряде случаев к ураганным пробам были отнесены пробы, массовая доля платины в которых превышала среднее значение в 3 – 5 раз [6, 46, 50]. В этом случае решение об отнесении пробы к ураганной никак не связано с величиной трех среднеквадратичных отклонений.

Принципиальным является также вопрос об алгоритме учета ураганных проб в расчетах показателей обогащения и при составлении балансов. Алгоритм учета ураганных проб с большой вероятностью может вызывать методическую погрешность. Современная теория опробования рекомендует исключать ураганные пробы из расчетов, объединяющих небольшое число проб, обычно отбираемых за короткий контрольный период (смена, сутки), и включать в расчеты при большом числе проб, отбираемых за относительно большой контрольный период (декада, месяц) [6, 46, 102, 133, 135].

Для методической погрешности результата опробования существуют дополнительные условия ее возможного появления.

Практика работы предприятий горно-обогатительного и горно-металлургического профиля связана с взаимными поставками концентратов и



сырья на коммерческой основе. Взаимоотношения поставщика и потребителя неизбежно связаны с погрешностями опробования поставляемых продуктов [46, 58, 135, 150, 211, 212]. Взаимодействие поставщика и потребителя регламентировано условиями договора поставки, в котором должны быть указаны алгоритмы действий при возникновении разногласий по части качества поставляемых продуктов [3, 4, 41]. Разногласия возникают при сопоставлении результатов опробования поставляемых продуктов у поставщика и потребителя. Так как в основе разногласий лежит разность получаемых поставщиком и потребителем результатов, то для поиска путей устранения разногласий следует изучать погрешности этих результатов и вызывающие их причины.

Для предотвращения появления методической погрешности по двум указанным выше причинам при опробовании у поставщика и потребителя рекомендованы следующие мероприятия:

1. Заменить расчет медианы на вычисление среднего арифметического значения результатов анализа всех параллельных навесок, при необходимости увеличивая их число.

2. Принять для поставщика и потребителя единые правила использования в расчетах ураганных проб и правила расчета накопленных результатов опробования.

Выполнение перечисленных мероприятий в большинстве случаев исключает появление методической погрешности в схеме «поставщик-потребитель».

Несмотря на существующую возможность устранения методической погрешности на этапе опробования, дополнительным условием для ее появления является схема выбора согласованного результата для товарно-денежных расчетов [41, 211]. Указанная схема выбора согласованного результата установлена договором поставки (соглашением о поставке). Такая схема в большинстве случаев устанавливает допустимый интервал расхождения результатов опробования поставщика и потребителя, предписывая алгоритм действий при превышении этого интервала. Один из характерных примеров схемы выбора согласованного результата по договору поставки приведен ниже:

1. Если разница сообщенных друг другу поставщиком и потребителем результатов анализа рабочих проб по любому из ценных компонентов находится за пределами установленных расхождений, то на контрольных пробах поставщика и потребителя должны быть выполнены повторные анализы.

2. Если результаты анализа контрольных проб по любому из ценных компонентов также выходят за пределы установленных расхождений, в выбранной по соглашению поставщика и потребителя арбитражной лаборатории должен быть выполнен анализ арбитражной пробы.

3. Если результат анализа арбитражной пробы выходит за пределы результатов анализа рабочих и контрольных проб, полученных ранее, за согласованный результат анализа принимается тот из результатов, который имеет меньшее расхождение с результатом анализа арбитражной пробы.

Один из вариантов работы поставщика и потребителя в соответствии с указанными требованиями рассмотрен ниже.

Результат анализа рабочих проб от партии руды на золото у поставщика составил 3,40 г/т, у потребителя – 3,85 г/т. Допустимый предел расхождения результатов анализа в соответствии с договором поставки составляет 0,10 г/т. Результаты подтвердились при анализе контрольных проб с незначительными отклонениями: 3,52 и 3,81 г/т соответственно. В результате был выполнен анализ арбитражной пробы с результатом 3,21 г/т.

Важно пояснить, что результаты поставщика и потребителя оказались правильными, так как невозможно подготовить две параллельные пробы, абсолютно совпадающие по массовой доле определяемых компонентов [6]. По этой же причине арбитражная проба может не совпадать по величине массовой доли с рабочими и контрольными пробами. В указанном случае наиболее правильным согласованным результатом будет среднее из пяти полученных значений – 3,56 % [6, 46, 211].

Согласно предусмотренной договором поставки схеме за согласованный результат опробования принят результат поставщика, составляющий 3,40 г/т. Таким образом, в результате, по которому будут выполнены денежные расчеты, искусственно внесена погрешность величиной 0,16 г/т.

Полученная погрешность имеет все признаки методической погрешности. Необходимо отметить, что обнаруженная методическая погрешность появляется на этапе перехода к искусственному выбору согласованного результата после получения всех пяти результатов анализа.

В таблицах 4.13 и 4.14 приведены значения согласованного результата опробования, получаемого в соответствии с различными алгоритмами его выбора после получения недопустимого расхождения между рабочими и контрольными пробами. Значения приведены для золотосодержащей руды и золотосодержащего концентрата. Для таблиц приняты следующие обозначения:

- PP1 – результат анализа рабочих и контрольных проб поставщика;
- PP2 – результат анализа рабочих и контрольных проб потребителя;
- AP – результат анализа арбитражной пробы;
- CP – согласованный результат.

Из пяти рассмотренных алгоритмов действий наиболее правильным является алгоритм по варианту № 5, обеспечивающий нулевую методическую погрешность. Остальные предложенные варианты искажают согласованный результат на величину от 3,1 до 9,8 % для золотосодержащей руды и от 8,4 до 13,3 % для золотосодержащего концентрата.

Величина полученных погрешностей сопоставима с величиной случайных погрешностей опробования для золотосодержащих продуктов. Так, например, приемлемая величина относительной случайной погрешности опробования золотосодержащей руды с массовой долей золота 3,3 г/т за смену на обогатительной фабрике может составлять до 12 %.

Аналогичная ситуация с появлением методической погрешности возможна при согласовании результатов опробования партий концентратов благородных металлов, направляемых на аффинажный передел [13, 20, 22, 57, 61, 135, 150].

Выдержка из договора поставки концентратов приведена ниже:

«1. Если разница сообщенных Сторонами друг другу результатов анализа по любому из благородных металлов находится за пределами указанных расхождений, то оставшаяся у поставщика часть пробы и одна из хранящихся частей пробы из архива потребителя подвергаются повторному анализу: одна – поставщиком, другая – потребителем.

2. Если результаты повторного анализа по любому из благородных металлов также выходят за пределы указанных расхождений, то потребитель направляет оставшуюся в архиве арбитражную пробу в арбитражную лабораторию, определенную по соглашению Сторон.

3. Если результат анализа арбитражной лаборатории выходит за пределы результатов анализов, которыми обменялись Стороны, то за согласованный результат анализа принимается тот, который имеет меньшее расхождение со значением, определенным арбитражной лабораторией».

Один из вариантов работы поставщика и потребителя в соответствии с указанными требованиями рассмотрен ниже.

Результат совместного опробования партии концентрата на золото у поставщика составил 3,0 %, у потребителя – 3,6 %. Допустимый предел расхождения результатов анализа в соответствии с договором поставки составляет 0,10 % абсолютных. Результаты подтвердились при выполнении параграфа 1 и 2 договора поставки, в результате чего был выполнен арбитражный анализ.

Результаты поставщика и потребителя оказались правильными, так как невозможно подготовить две параллельные пробы, абсолютно совпадающие по массовой доле определяемых компонентов [6, 62, 140]. В этом случае наиболее правильным согласованным результатом будет среднее из полученных значений – 3,3 %.

Арбитражная проба имела характер «ураганной» с массовой долей золота 5,0 %. В результате за согласованный результат совместного опробования принят результат потребителя, составляющий 3,6 %.

Принятый согласованный результат содержит методическую погрешность величиной 0,3 %. Для согласования результатов опробования по золоту полученная величина методической погрешности будет значимой [4, 135].

Методическую погрешность, появляющуюся при согласовании результатов опробования на договорных условиях, характеризуют особенности, отличающие ее от ВСП:

- величина методической погрешности зависит от допустимого предела случайной погрешности (предела повторяемости или предела воспроизводимости), принятого при анализе у поставщика и потребителя;
- величина методической погрешности разности результатов опробования у поставщика и потребителя зависит от установленного между ними уровня взаимного контроля и согласования: так, например, если разность результатов в пользу потребителя игнорируется, а в пользу поставщика перепроверяется, то эта погрешность будет всегда работать в пользу потребителя.

Таблица 4.13 – Изменение согласованного результата опробования в зависимости от алгоритма его выбора для золотосодержащей руды

№ п/п	Вариант алгоритма выбора согласованного результата	Результат анализа пробы, г/т			СР, г/т	Правильный результат (по имеющимся данным), г/т	Относительная методическая погрешность, %
		РР1	РР2	АР			
1	Вариант 1: - получение АР; - выбор за СР РР, имеющего меньшее расхождение с АР	3,40 3,52	3,85 3,81	3,21	3,40	3,56	4,5
2	Вариант 2: - получение АР; - выбор за СР среднего между РР, имеющим меньшее расхождение с АР, и самим АР				3,31	3,56	7,0
3	Вариант 3: выбор за СР среднего между РР1 и РР2, имеющими меньшее расхождение между собой (без получения АР)				3,67	3,56	3,1
4	Вариант 4: - получение АР; - выбор за СР АР (СР = АР)				3,21	3,56	9,8
5	Вариант 5: - получение АР; - выбор за СР среднего по двум РР1, двум РР2 и АР				3,56	3,56	0

Таблица 4.14 – Изменение согласованного результата опробования в зависимости от алгоритма его выбора для золотосодержащего концентрата

№ п/п	Вариант алгоритма выбора согласованного результата	Результат анализа пробы, г/т			СР, г/т	Правильный результат (по имеющимся данным), г/т	Относительная методическая погрешность, %
		PP1	PP2	AP			
1	Вариант 2: - получение AP; - выбор за СР среднего между PP, имеющим меньшее расхождение с AP, и самим AP	85 80	89 87	72	76	83	8,4
2	Вариант 4: - получение AP; - выбор за СР AP (СР = AP)				72	83	13,3
3	Вариант 5: - получение AP; - выбор за СР среднего по двум PP1, двум PP2 и AP				83	83	0

Таким образом, условия заключаемого между поставщиком и потребителем договора поставки могут предопределять дополнительные условия для появления значимой методической погрешности. Важно отметить, что такая погрешность может появляться даже в том случае, если выполняются перечисленные выше мероприятия по исключению методической погрешности на этапе опробования. На этом основании имеет смысл рекомендовать отказ от выполнения взаимозачетов между поставщиком и потребителем с использованием алгоритма искусственного искажения согласованного результата опробования.

Оптимальным путем получения наиболее правильного согласованного результата для взаимных расчетов будет являться увеличение числа анализируемых рабочих проб с вычислением среднего арифметического значения по результатам анализа каждой из таких проб.

#### 4.7. Выводы

1. Асимметричность распределений массовой доли ценных компонентов в точечных пробах является особенностью опробуемых массивов на обогатительных фабриках. Асимметричные распределения массовой доли приводят к появлению новых специфических погрешностей – вероятной систематической погрешности и методической погрешности.

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. 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 распределения массовой доли, сильно отличающиеся друг от друга. Единственной стабильной формой распределения массовой доли ценного компонента является покусковое распределение для раскрытого материала. Такое распределение является основной фундаментальной характеристикой любого опробуемого массива.

2. Фундаментальной числовой характеристикой опробуемого массива является покусковая дисперсия. Покусковая дисперсия может быть найдена аналитическим путем. Для этого нужно знать плотности минерала и породы ( $\rho_m$  и  $\rho_p$ ), массовую долю компонента в руде  $\alpha$  и массовую долю компонента в минерале  $\beta_m$ , также для сростков необходимо знать дополнительно размер кусков материала  $\alpha$  и зерен полезного материала  $\bar{d}_3$ , а также величину характеристики вкрапленности минерала  $b$ .

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  $b = 2,36$ .

3. Наиболее значимо действие вероятной систематической погрешности проявляется при опробовании руд цветных металлов и золота. Вероятная систематическая погрешность 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 вероятной систематической погрешности 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 вероятной систематической погрешности на результаты опробования золотосодержащих продуктов показывают, что величина ВСП может составлять более 100 %.

Высокие значения вероятной систематической погрешности периодически наблюдаются при опробовании однокомпонентных руд черных металлов. Для продуктов переработки хромовых руд зафиксирована величина вероятной систематической погрешности минус 23 % относительных.

Строгое и полное соблюдение требований стандартов на опробование не исключает влияния вероятной систематической погрешности на результат опробования.

4. Определены условия достоверного опробования, исключающие появление вероятной систематической погрешности, определяемые на основании штатных результатов опробования действующих обогатительных фабрик. Для достоверного определения 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. Для устранения вероятной систематической погрешности результата опробования золотосодержащей руды величиной более 5 % относительных требуется сократить интервал отбора точечных проб до трех минут.

5. Причиной возникновения методической погрешности является асимметрия распределения массовой доли в точечных пробах. Методическая погрешность является погрешностью алгоритма обработки результатов как непосредственно анализа проб, так и алгоритма обработки результатов опробования продуктов обогащения. 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 увеличение числа анализируемых рабочих проб с вычислением среднего арифметического значения по результатам анализа каждой из проб.

## **5. Высокочастотный комбинированный способ отбора и сокращения проб**

### **5.1. Необходимость применения способа высокочастотного комбинированного отбора проб**

Для обеспечения наиболее представительного отбора проб необходимы выполнение принципов правильного опробования и отбор максимально возможного числа точечных проб. Последнее возможно при отборе точечных проб способом продольного пересечения потока. Степень сокращения способа продольного пересечения потока ограничена шириной пробоотсекающей щели: согласно требований стандартов, ширина щели пробоотсекателя не может составлять менее 4 мм, в практике опробования пульповых продуктов ширина щели пробоотсекателя обычно составляет от 6 до 15 мм [3, 6, 7, 15, 69, 70, 71, 95]. При применении для отбора проб заборных трубок проходное сечение такой трубки составляет от 10 до 25 мм. Таким образом, учитывая распространенные на обогатительных фабриках диаметры трубопроводов, степень сокращения исходного опробуемого потока составит от 10 до 100. При этом для получения начальной пробы массой в один килограмм за смену продолжительностью 12 часов от потоков производительностью 100 – 1000 т/ч степень сокращения должна составлять от 30 000 до 6 000 000. Для обеспечения указанных степеней сокращения требуется не менее шести последовательных операций сокращения при помощи щелевых отсекающих устройств и не менее трех последовательных операций сокращения при помощи заборных трубок.

Альтернативой способу продольного пересечения потока является высокочастотный способ поперечного пересечения потока с интервалом между отбором точечных проб в несколько секунд [3, 106, 133, 134, 213, 214]. Степень сокращения секторного сократителя, работающего в непрерывном режиме, равна отношению длины окружности траектории вращения к ширине отсекающей щели и для большинства подобных аппаратов составляет величину от 50 до 90. С целью обеспечения требуемых степеней сокращения необходимы 3 – 4 секторных сократителя, работающих последовательно.

Следовательно, при использовании высокочастотного отбора проб способом продольного или поперечного пересечения необходимо предусматривать не менее трех последовательных операций сокращения отобранных проб. Оба способа имеют свои технические ограничения: сложность усреднения опробуемого потока в точке отбора пробы в первом случае и необходимость организации перепада потока в точке отбора во втором случае.

Возможны несколько рациональных комбинаций оборудования различных типов для отбора и сокращения проб:

- щелевой отсекатель с двумя или тремя секторными сократителями;



- щелевой отсекаТЕЛЬ с одним или двумя секторными сократителями и регулируемым делителем потока.

По совокупности степени сокращения разных типов оборудования и объему опробуемого потока имеется возможность определить необходимый набор оборудования для получения накопленной пробы. В таблице 5.1 приведены основные варианты комбинирования распространенных типов оборудования для отбора и сокращения проб.

Таблица 5.1 – Варианты комбинирования оборудования для отбора и сокращения проб

№ п/п	Комбинация оборудования/операция отбора (сокращения)	Способ пересечения потока	Степень сокращения	Степень сокращения общая
1	Щелевой отсекаТЕЛЬ/1	продольный	50	50
	Щелевой отсекаТЕЛЬ/2	продольный	10	500
	Щелевой отсекаТЕЛЬ/3	продольный	10	5 000
	Щелевой отсекаТЕЛЬ/4	продольный	10	50 000
	Щелевой отсекаТЕЛЬ/5	продольный	10	500 000
	Щелевой отсекаТЕЛЬ/6	продольный	10	<b>5 000 000</b>
2	Заборная трубка/1	продольный	710	710
	Заборная трубка/2	продольный	10	7 100
	Заборная трубка/3	продольный	10	71 000
	Заборная трубка/4	продольный	10	<b>710 000</b>
3	Секторный сократитель непрерывного действия/1	поперечный	90	90
	Секторный сократитель непрерывного действия/2	поперечный	90	8 100
	Секторный сократитель непрерывного действия/3	поперечный	90	<b>729 000</b>
4	Щелевой отсекаТЕЛЬ/1	продольный	50	50
	Секторный сократитель непрерывного действия/2	поперечный	90	4 500
	Секторный сократитель непрерывного действия/3	поперечный	90	<b>405 000</b>
5	Щелевой отсекаТЕЛЬ/1	продольный	50	50
	Секторный сократитель непрерывного действия/2	поперечный	90	4 500
	Делитель потока/3	продольный/ поперечный	100	<b>450 000</b>

Общая степень сокращения предложенных комбинаций оборудования составляет от 450 000 до 5 000 000, что позволяет получить накопленную пробу приемлемого объема от любого из потоков на обогатительной фабрике.

## **5.2. Ограничения способов отбора и сокращения проб по существующим погрешностям опробования**

Одним из практических путей снижения (устранения) погрешностей опробования является внедрение на обогатительных фабриках новых способов отбора и подготовки проб, предусматривающих учет особенностей опробования всех разновидностей продуктов и предельную минимизацию (устранение) погрешностей. Применение новых способов отбора и подготовки проб выполняется исходя из следующих требований:

- предпочтительный отбор проб от движущихся продуктов перед отбором проб от неподвижных продуктов;
- предпочтительное сокращение движущихся продуктов перед сокращением неподвижных продуктов;
- опробование продуктов в минимально возможной крупности;
- максимальное снижение влияния поперечной и продольной неоднородности потока опробуемого продукта (по контролируемым параметрам).
- расчет параметров отбора и сокращения проб с учетом характеристик опробуемых (сокращаемых) продуктов.

На обогатительных фабриках существует необходимость опробования нескольких разновидностей продуктов:

### 1. Движущиеся продукты:

- непрерывные технологические потоки, перемещаемые механизированным транспортом (насосами и конвейерами);
- непрерывные технологические потоки, перемещаемые самотеком.

### 2. Неподвижные продукты:

- добытые массы в таре, штабелях и технологических емкостях;
- концентраты в таре, штабелях и технологических емкостях.

Обеспечить качественное опробование перечисленных продуктов известными способами затруднительно. Одна из причин обусловлена способом отбора и подготовки проб [3, 6, 7, 42, 43, 46, 72, 160, 214, 215, 216, 217].

Действующие стандарты, регламентирующие процессы отбора и подготовки проб, предусматривает выполнение товарного опробования только способом поперечного пересечения потока [3, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 170, 218]. Это позволяет исключить систематическую погрешность, связанную с неоднородностью материала в поперечном сечении. При этом число точечных проб, полученных способом поперечного пересечения, имеет ограничение, связанное с предельно допустимой массой начальной пробы. Таким образом, в большинстве случаев указанным способом выполняется отбор сравнительно небольшого числа точечных проб. Так как части (элементы) потока, от которых отбираются точечные пробы, достаточно велики, в отбираемых точечных пробах могут не отражаться кратковременные изменения массовой доли контролируемого компонента. Это приводит к возникновению ВСП. Если от потока производительностью 100 т/ч способом поперечного пересечения отбирается одна точечная проба с периодичностью 10 минут, то масса элемента

потока, от которого отбирается проба, составит 16,7 т. Неоднородность такого большого элемента потока может быть весьма значительной, что может напрямую повлиять на возникновение ВСП результата опробования.

Так как кратковременные изменения массовой доли контролируемого компонента для сравнительно бедных продуктов обогащения (руда и хвосты) обычно бывают положительными, то массовая доля в бедных продуктах при отборе проб способом поперечного пересечения систематически занижается с той или иной долей вероятности вследствие действия ВСП [3, 6, 46, 133, 135]. Для сравнительно богатых продуктов (концентраты) характерно вероятное систематическое завышение массовой доли.

Способ продольного пересечения, при котором не происходит полного поперечного пересечения потока, не обеспечивает представительности всех элементов поперечного сечения потока в пробе. Это приводит к появлению систематической погрешности. Тем не менее, у способа продольного пересечения потока есть достоинства:

- число элементов в продольном сечении потока, от которых отбирается точечная проба или от которых поступает аналитический сигнал, стремится к бесконечности, что приводит к снижению ВСП;

- использование автоматических анализаторов потока для измерения массовой доли непосредственно в потоке без изъятия его части в виде пробы (распространенное в настоящее время техническое решение) возможно только способом продольного пересечения (сканирования).

Способы поперечного и продольного пересечения потока обладают сопоставимыми недостатками: в первом случае возможно влияние на результат опробования продольной неоднородности потока, а во втором случае – поперечной неоднородности. Пути устранения указанных недостатков в обоих случаях одинаковы и заключаются в тщательном усреднении (перемешивании) соответствующих элементов потока, а также в уменьшении самих элементов потока, от которых отбирается проба. Это означает, что для отбора точечных проб при условии минимизации погрешностей возможны следующие варианты:

1. Минимизация массы элементов опробуемого потока при отборе проб способом поперечного пересечения (отбор точечных проб с высокой частотой). В данном случае следует предельно увеличивать число точечных проб. Для указанного выше случая опробования потока производительностью 100 т/ч, необходимо отбирать пробы, например, два раза в минуту, тогда масса элемента потока, от которого отбирается одна точечная проба, составит 0,835 т. Такой вариант применим как для потоков пульпы, так и для сыпучих кусковых продуктов, усреднение которых в потоке выполнить практически невозможно.

2. Локальное усреднение потока в точке отбора пробы способом продольного пересечения. Такое решение применимо почти для всех пульпообразных продуктов и позволяет адаптировать способ продольного пересечения потока для товарного опробования, в том числе и при помощи автоматических анализаторов в потоке.

Очевидно, что повышение частоты отбора точечных проб способом поперечного пересечения или переход к способу продольного пересечения

неизбежно приводит к получению начальной объединенной пробы, масса которой значительно (до сотен раз) превышает достаточную массу пробы, направляемой на пробоподготовку.

Необходимо отметить объективные сложности, сопровождающие процессы перемешивания (усреднения) опробуемого продукта в точке отбора пробы. Погрешность процесса усреднения пробы не может быть описана математическими зависимостями и оценивается только экспериментальным путем [3, 5, 147, 160, 215]. В специальной литературе представлены только теоретические основы и экспериментальные закономерности процесса усреднения жидких сред (преимущественно для механических перемешивающих устройств). Применительно к сыпучим материалам, на практике используются два основных метода перемешивания: гравитационный и принудительный (механический). Первый реализуется в устройствах различной конструкции под преимущественным действием силы тяжести, второй – в результате работы возмущающих сил, действующих в направлениях, не совпадающих с направлением действия силы тяжести [99, 110, 146, 170, 219]. При любом из упомянутых механических методов усреднения неизбежно возникновение систематических погрешностей, связанных с несколькими факторами [105, 155, 220]:

- гравитационная сегрегация частиц различной плотности и размера;
- физическое взаимодействие между частицами;
- различный характер поведения частиц разной плотности и крупности в результате действия возмущающих сил.

Распределение массовой доли ценного компонента в различных частях объема идеально усредненной пробы должно быть подчинено биномиальному закону вне зависимости от величины рассматриваемой части пробы. Вариации массовой доли ценного компонента в больших частях пробы будут характеризовать ее макронеоднородность, а в малых частях – микронеоднородность. Если вариации массовой доли хотя бы для одной из частей пробы (большой или малой) превышают установленные биномиальным законом, пробу нельзя назвать полностью усредненной. При этом даже на практике имеется возможность выполнить усреднение с равномерностью распределения, превышающей биномиальную. Необходимым условием для этого является полное раскрытие зерен ценного компонента и такой гранулометрический состав усредняемого материала, при котором частицы во всем объеме смогут образовать подобие упорядоченной кристаллической решетки [105, 155, 219].

Сокращение пробы выполняется при условиях, когда масса сокращаемой пробы сравнительно невелика. В этом случае целесообразно проводить сокращение предварительно усредненной (перемешанной) пробы. Используемые на практике методы сокращения предусматривают предварительное усреднение пробы или включают в себя операцию усреднения.

В практике пробоподготовки выделяются две группы методов обработки сокращаемой пробы в зависимости от ее положения в пространстве [5, 6, 43, 93, 142, 147, 214, 215, 217]:

1. Перемешивание и сокращение неподвижных проб.

## 2. Перемешивание и сокращение движущихся проб (сокращение потока).

Перемешивание неподвижных проб осуществляется следующими методами:

- метод «кольца и конуса»;
- перекачивание;
- просеивание;
- перемешивание в механическом смесителе.

Перемешивание в механическом смесителе используется для проб массой до нескольких десятков килограммов. В качестве механических смесителей могут быть использованы лабораторные мельницы без мелющих тел. Также используются специальные смесительные аппараты с вращающейся в двух плоскостях смесительной камерой.

Механизированное усреднение материала перед сокращением на практике реализовано в смесителях периодического действия. Смеситель представляет собой прямую или V-образную цилиндрическую камеру, соединенную с приводом кинематической системой, имеющей несколько степеней свободы. Смесители имеют объем камеры до 50 литров и могут использоваться для перемешивания проб крупностью до 20 мм. После усреднения в смесителе материал выгружается из камеры в пробосократитель либо сокращается вручную.

Существуют пробосократители, в которых процессы усреднения и сокращения пробы совмещены. В Сибирском отделении АН СССР был сконструирован пробосократитель, в котором опробуемый материал подается на вращающийся разбрасыватель типа вращающейся крыльчатки и после нее направляется на делитель секторного типа [77, 142]. Испытания опытного образца продемонстрировали представительность формирования сокращенных проб и хорошую воспроизводимость получения параллельных проб. Испытания проведены на материале крупностью менее 4 мм. При объективных достоинствах описанного пробосократителя информация о применении его для материалов крупностью более 4 мм отсутствует.

подавляющее большинство продуктов, подвергаемых сокращению в ходе пробоподготовки, состоит из различных по размеру, форме и плотности частиц (кусков). При перемешивании таких продуктов неизбежен эффект неравномерного распределения частиц различной плотности и размеров по объему продукта (чаще всего – по высоте слоя). Существенным недостатком процесса перемешивания является неустранимость эффекта сегрегации материала и сложная нелинейная зависимость степени сегрегации от продолжительности перемешивания. Так, например, имеются литературные данные, не подтверждающие монотонной тенденции гомогенизации материала с увеличением продолжительности его перемешивания [86, 105, 155, 160, 165, 175, 192, 204, 219, 221, 222]. В результате, даже если после некачественного перемешивания следует представительное механизированное сокращение, проба будет характеризоваться неоднородностью, обусловленной неоднородностью опробуемого потока в продольном и поперечном направлениях.

Для количественного анализа неравномерности распределения контролируемого компонента по объему перемешиваемой пробы до и после

перемешивания проведены экспериментальные исследования по усреднению искусственной модельной смеси несколькими распространенными способами [147]. Модельная смесь представляла собой измельченный кварц крупностью  $-1,0+0,7$  мм с добавлением зерен магнетита той же крупности в качестве маркеров. Таким образом, плотность маркеров смеси значительно отличалась от плотности кварца (плотность магнетита  $5200 \text{ кг/м}^3$ , плотность кварца  $2650 \text{ кг/м}^3$ ). Проводимые эксперименты заключались в количественном определении неравномерности распределения маркеров по объему пробы до перемешивания и после перемешивания.

Уменьшение неоднородности сокращаемой пробы можно достичь путем ее усреднения (перемешивания). Неоднородность материала пробы предлагается оценивать через функцию величины разности между максимальной и минимальной массовой долей контролируемого компонента в точечных пробах – через дисперсию точечных проб:

$$S_T = \frac{\Delta\alpha}{4} = \frac{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}}{4}. \quad (5.1)$$

Тогда эффективность усреднения (перемешивания) материала предлагается выражать через коэффициент неоднородности  $K_S$ , являющийся отношением дисперсий точечных проб после усреднения пробы  $(S_{T_{\text{ус}}})^2$  и до усреднения пробы  $(S_{T_{\text{пр}}})^2$ :

$$K_S = \frac{(S_{T_{\text{ус}}})^2}{(S_{T_{\text{пр}}})^2}. \quad (5.2)$$

Для оценки эффективности перемешивания искусственной смеси использовалась кювета кубической формы, предусматривающая возможность выделения из всего объема помещенной в нее пробы трех горизонтальных слоев, а из объема каждого горизонтального слоя – девяти идентичных по объему частных проб. Таким образом была обеспечена возможность разделить весь объем пробы искусственной смеси на 27 идентичных по объему частных проб. По результатам экспериментов были найдены зависимости предложенного коэффициента неоднородности  $K_S$  от неравномерности распределения контролируемого компонента по объему пробы до и после операции усреднения. Зависимости были определены для каждого из трех слоев пробы искусственной смеси, а также для всего объема пробы. Расчет операции выполнен для сокращения пробы массой 10,0 кг до 1,5 кг, при этом масса каждого слоя пробы в кювете составила 0,5 кг.

С целью сравнения эффективности различных операций усреднения материала были выполнены эксперименты по перемешиванию указанной искусственной смеси в барабане лабораторной шаровой мельницы, а также способами перекачивания и «кольца и конуса». Неоднородность усредняемого материала оценивалась при различной продолжительности процесса усреднения. Результаты экспериментов представлены в таблице 5.2.

Экспериментально доказано, что при перемешивании материала с различной плотностью и крупностью составляющих его компонентов возможно возникновение обратного эффекта, когда степень неоднородности материала после перемешивания увеличивается за счет сегрегации материала по плотности и крупности. В этом случае коэффициент неоднородности принимает значение более единицы:

- при механическом перемешивании пробы во вращающемся барабане лабораторной мельницы коэффициент неоднородности составил 1,03 и 1,17 при продолжительности перемешивания 180 с и 360 с соответственно, и только при продолжительности перемешивания 60 с был достигнут эффект повышения однородности перемешиваемой пробы;

- при усреднении материала способом перекатывания через три цикла коэффициент усреднения составил 0,92; через девять циклов – 1,34; через 18 циклов – 1,28.

Способы усреднения материала имеют общую отличительную характеристику – каждый из методов предполагает перемешивание материала в объеме, когда любой фрагмент пробы или проба целиком имеет сопоставимые линейные размеры во всех трех измерениях [147, 219].

Таблица 5.2 – Зависимость коэффициента неоднородности материала от способа усреднения и продолжительности усреднения

Перемешивание в барабане мельницы	Способ перекатывания	Способ «кольца и конуса»
0,70 (60 с)	0,92 (3 цикла)	0,82 (1 цикл)
1,03 (180 с)	1,34 (9 циклов)	0,89 (3 цикла)
1,17 (360 с)	1,28 (18 циклов)	0,80 (6 циклов)

Когда величина коэффициента неоднородности опробуемого массива составляет более единицы, создаются условия для возникновения систематической погрешности результата опробования. При этом коэффициент неоднородности отдельного элемента массива может составлять величину менее единицы. Очевидно, что оптимальным вариантом отбора точечных проб будет отбор точечной пробы от каждого элемента массива, коэффициент неоднородности которого составляет не более единицы.

Фактически невыполнимой задачей является правильное опробование неподвижных продуктов, которые в своем исходном состоянии перемешать невозможно. Неподвижными продуктами на обогатительной фабрике являются продукты в технологических емкостях, таре или штабелях. Единственный способ отбора точечных проб от неподвижных продуктов – способ вычерпывания, который практически не подлежит какой-либо механизации и характеризуется высокими трудозатратами. Поэтому на практике от неподвижных масс точечные пробы отбираются либо с нарушениями правил, либо в недостаточном количестве. Предельный облегченный вариант способа вычерпывания – горстевой способ отбора проб – не обеспечивает равнопредставительность элементов опробуемого массива в начальной пробе и только по этой причине уже не может считаться

правильным. Альтернативой способу вычерпывания является способ перелопачивания, который также выполняется вручную или, в исключительных случаях, при помощи экскаватора или погрузчика. Это наделяет способ перелопачивания всеми недостатками и субъективностью любого немеханизированного способа опробования.

Механизация процесса опробования неподвижных продуктов может быть реализована только путем полного перемещения опробуемого продукта с опробованием в процессе перемещения. Такой способ получил название способа перегрузки [3, 99, 223, 224, 225, 226, 227, 228]. Способ перегрузки является новым механизированным вариантом способа перелопачивания и является наиболее правильным и менее трудозатратным. Выполнить опробование способом перегрузки возможно при наличии специализированного оборудования – сократителя (пробоотбирателя), через который перегружается весь объем опробуемого продукта, находящегося в емкости или таре. В этом случае сократитель должен быть установлен таким образом, чтобы продукт из емкости мог быть собран в аналогичную емкость.

Не менее сложную задачу представляет опробование крупнокусковой руды, поступающей для переработки на обогатительные фабрики. Отбор точечных проб в большой крупности связан с появлением значимых погрешностей всех видов [5, 25, 26, 32, 72].

Ручной отбор проб крупнокусковых продуктов характеризуется сложностью выполнения. Кусок руды средним размером 400 мм имеет массу от 40 до 80 кг, и выполнять любые операции вручную с такими кусками фактически невозможно. Поэтому для ручного отбора проб используются лопаты шириной 200 – 250 мм, при помощи которых отбираются в пробу более мелкие куски. В ряде случаев выполняется отбивание мелких кусков от крупных при помощи молотка или ему подобного инструмента (способ «молотка и совка»). Ручной отбор проб от крупнокусковых продуктов неизбежно выполняется с нарушением принципов *правильного* опробования, и результат опробования с подобным отбором проб будет сопровождаться систематической погрешностью [25, 26, 27, 145].

На ряде предприятий выполнена количественная оценка результатов ручного отбора проб крупнокусковых продуктов [25, 32, 72]. Так, в ПАО «ГМК «Норильский никель» выполняется ручное опробование руды крупностью более 500 мм на рудниках, а затем *правильное* механизированное опробование этой же руды после первой стадии дробления на ТОФ. Ручное опробование дает систематическое завышение массовой доли никеля в руде в среднем за три месяца на 12,3 % относительных и меди на 4,6 % относительных. На Донском ГОКе АО «ТНК «Казхром» при опробовании хромовых руд крупностью минус 300 мм массовая доля оксида хрома завышается на 5,2 % относительных [3, 151].

Ручной отбор проб для постоянно действующих точек опробования не предусмотрен современными правилами безопасности, и его использование, даже с соблюдением необходимых дополнительных мер безопасности (в частности, путем отбора проб с ленты остановленного конвейера), является нарушением Правил безопасности [3, 77].



Действовавший с 2003 по 2013 годы документ «Единые правила безопасности при дроблении, сортировке, обогащении полезных ископаемых и окусковании руд и концентратов» [3, 5, 6] предусматривал, что «...ручной отбор проб только в установленных точках технологической схемы, определяемых техническим руководителем организации. Места (площадки) отбора проб должны быть удобными, безопасными, иметь местное освещение, их оборудование и устройство ограждений должно быть определено проектом. Отбор проб с необорудованных точек запрещается». В 2013 году Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору введен в действие документ под названием «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» [3]. Отбор проб регламентируется правилом 799 указанного документа: «Отбор проб должен осуществляться механическими пробоотбирателями в автоматическом режиме или дистанционно управляемыми, за исключением обустроенных для наладки технологии точек технологической схемы по проекту, утверждаемому техническим руководителем организации». Новое издание указанных Правил от 2020 года [77] регламентирует требования к отбору проб в виде правила № 1269: «Отбор проб должен осуществляться механическими пробоотборниками в автоматическом режиме или дистанционно управляемыми. Отбор проб для наладки технологии непериодического опробования может производиться в ручном режиме, в установленных точках технологической схемы, определяемых техническим руководителем организации. Места (площадки) для ручного отбора проб должны соответствовать требованиям безопасности, иметь местное освещение». Исходя из тенденции ужесточения требований безопасности процесса отбора проб на протяжении длительного периода времени очевидно, что доля ручного отбора проб в общем объеме выполняемого опробования неуклонно снижается.

Существуют примеры механизированного отбора проб крупнокусковых продуктов. Установки так называемого головного опробования создавались и внедрялись на некоторых обогатительных фабриках [3, 5, 6, 7, 32, 33, 43, 69, 70, 71, 72, 82, 93]. Из действующих установок можно выделить установку головного опробования асбестовой руды крупностью минус 130 мм на потоке производительностью более 1 000 т/ч. Отбор проб выполняется ковшовым пробоотбирателем, масса точечной пробы составляет до 800 килограммов. Объединенная проба массой 32 000 килограммов обрабатывается в технологической линии, включающей две щековые дробилки и несколько секторных сократителей.

Другая установка головного опробования спроектирована и установлена на ТОФ на потоке руды крупностью минус 100 мм. Отбор проб выполняется методом поперечного пересечения ковшовым пробоотбирателем. Отсекающий ковш пробоотбирателя перемещается поперек толщины свободнопадающего опробуемого потока путем поворота вокруг горизонтальной оси. Подбором траектории перемещения ковша обеспечена *правильность* отбора точечных проб в соответствии с ГОСТ 14180-80. Далее выполняется дробление и измельчение отобранных проб в щековой дробилке и шаровой мельнице, после чего

выполняется их механизированное сокращение в секторном сократителе. Оборудование установки расположено на нескольких отметках ТОФ.

Установки головного опробования также созданы для опробования угля крупностью до 300 мм. Они состоят из пробоотбирателя и проборазделочной машины [6, 7, 32, 72].

Общий интерес к созданию установок опробования крупнокусковых руд в горно-обогатительной отрасли сохраняется, но при этом отдельные разработки являются уникальными и предназначены для решения целевых отдельных задач опробования, не повторяющихся на других предприятиях. Установки для опробования крупнокусковых руд являются сравнительно сложными в технической и эксплуатационной части, но их разработка и внедрение теоретически возможны для большинства действующих обогатительных фабрик по индивидуальным проектам. Так как в мировой практике руды не обогащаются в крупности более 300 мм [1, 2, 5, 53, 54, 60, 69, 72, 147, 220, 231, 232, 233, 234], предельным размером кусков опробуемой руды для любой из действующих обогатительных фабрик следует считать величину 300 мм.

При возможности отбор проб должен выполняться от руды в минимальной крупности.

Так, на обогатительную фабрику Качканарского ГОКа (АО «ЕВРАЗ КГОК») поступает руда крупностью 1200 мм, при этом установка головного опробования руды смонтирована на потоке дробленной руды крупностью минус 40 мм. Точечная проба руды в такой крупности массой 80 килограммов после отбора сразу подается на сокращение, после чего сокращенная проба измельчается до крупности минус 1 мм и сокращается до лабораторной пробы.

Трудоемкость отбора проб снижается с уменьшением крупности опробуемого массива (в т. ч. потока руды). Так как на обогатительных фабриках руда дробится и измельчается, то основным мероприятием по упрощению операции отбора проб является назначение такой точки отбора, в которой руда имеет наименьшую крупность. При этом до назначенной точки отбора проб не должно происходить изменения состава руды за счет добавления в нее других материалов, либо вывода части руды из общего потока. Такое технологическое решение, если оно возможно, является оптимальным для точки отбора проб дробленной руды [3, 6, 7, 32, 72].

Представительное опробование «неподвижных» продуктов любой крупности возможно путем перелопачивания или перегрузки, так как для отбора проб допустимо использовать горную погрузочно-разгрузочную технику. Наглядным примером качественного опробования партий золотой руды с кусками крупностью до 50 мм с относительной погрешностью 6 % (без погрешности анализа) является система опробования, функционирующая на Алмалыкском ГОКе (АО «Алмалыкский ГМК»). Начальная проба отбирается после разгрузки руды из железнодорожного состава путем перелопачивания с использованием автомобильных погрузчиков. Масса начальной пробы составляет до 100 тонн. После отбора начальной пробы руда вновь загружается в железнодорожный состав. Начальная проба последовательным перелопачиванием сокращается до пробы массой 5 т, после чего дробится и сокращается в меньшей крупности [6].

Другим примером является система опробования крупнокусковой магнетитовой руды ( $d_{\max} = 100$  мм), поступающей в контейнерах типа МКР. Руда из МКР перегружается через щековую дробилку и дисковый пробоотбиратель-сократитель, после чего руда снова загружается в контейнер МКР. Аналогичное технологическое решение применяется для опробования крупнокускового золотосодержащего шлака и медно-никелевого шлака [3, 6]. Варианты опробования крупнокусковых продуктов приведены в таблице 5.3.

Масса точечной пробы зависит от используемого для ее отбора пробоотбирателя и способа отбора (или анализа – при инструментальном анализе точечных проб). Поэтому масса точечной пробы может быть любой: от очень малой до весьма большой.

Число точечных проб зависит от массы точечной пробы. Чем меньше масса точечной пробы, тем больше дисперсия точечных проб и, следовательно, требуемое число точечных проб при одной и той же случайной погрешности отбора объединенной пробы.

Во многих случаях число точечных проб также определено условиями их отбора или анализа, например, периодичностью анализа проб в системах с использованием автоматических анализаторов.

В итоге опробование крупнокусковых руд может быть выполнено по одному из нескольких вариантов, зависящих от технического обеспечения системы опробования, массы и числа точечных проб (таблица 5.3).

Дополнительные комментарии к таблице 5.3 следующие [72]:

1. Ручной отбор проб методом «молотка и совка»:

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} \neq 0, \quad \Delta\alpha_{\text{ВСП}} \neq 0, \quad \Delta\alpha_{\text{сл}} \neq \min$$

Запрещен действующими правилами безопасности. Используется по необходимости.

2. Отбор в пробу ограниченного числа точечных проб, например, каждый час, с многостадийным дроблением и сокращением точечных проб большой массы:

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} = 0, \quad \Delta\alpha_{\text{ВСП}} \neq 0, \quad \Delta\alpha_{\text{сл}} = \min$$

Значительные капитальные и эксплуатационные затраты.

Имеется положительный опыт.

3. Выделение в пробу большого числа точечных проб, например, каждую минуту, с многостадийным дроблением и сокращением начальной пробы большой массы:

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} = 0, \quad \Delta\alpha_{\text{ВСП}} = 0, \quad \Delta\alpha_{\text{сл}} = \min$$

Большие капитальные и эксплуатационные затраты.

Таблица 5.3 – Варианты отбора проб от массива крупнокусковых руд

Вариант отбора (анализа) точечной пробы	Масса точечной пробы	Число точечных проб	Погрешности			Особенности и реализация
			$\Delta\alpha_{\text{сист}}$	$\Delta\alpha_{\text{сл}}$	$\Delta\alpha_{\text{всп}}$	
1. Ручной отбор (в т. ч. – метод «молотка и совка»)	малая	малое	$\neq 0$	$\neq \text{min}$	$\neq 0$	Распространен, связан со всеми погрешностями опробования
2. Механический отбор	большая	малое	$= 0$	$\neq \text{min}$	$\neq 0$	Реализован на рудах с кусками до 130 мм (АО «Ураласбест»)
3. Механический отбор с одновременным дроблением и сокращением пробы	большая	большое	$= 0$	$= \text{min}$	$= 0$	Реализован на рудах с кусками до 110 мм (ТОФ)
4А. Механический отбор с отбойкой кусков малой массы	очень малая	очень большое	$= 0$	$= \text{min}$	$= 0$	Реализован на угольном разрезе. На рудах не реализован
4Б. Естественное разрушение кусков и отбор в пробу пылевидных частиц	весьма малая	весьма большое	$\neq 0$	$= \text{min}$	$= 0$	Не реализован, имеются перспективы использования
5А. Автоматический анализ точечных проб малой массы	малая	большое	$\neq 0$	$= \text{min}$	$= 0$	Реализован на основе рентгенофлуоресцентного анализа (ПАО «Гайский ГОК», ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»)
5Б. Автоматический анализ точечных проб большой массы	большая	большое	$= 0$	$= \text{min}$	$= 0$	Возможна реализация на основе активационного анализа

4. Отбор большого числа точечных проб малой массы. Получение пробы, пригодной для анализа.

Подвариант А: отбор малых точечных проб с механическим искусственным их отделением от кусков руды (механизация метода «молотка и совка»):

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} = 0, \quad \Delta\alpha_{\text{ВСП}} = 0, \quad \Delta\alpha_{\text{сл}} = \min$$

Опыт есть при опробовании угля. При необходимости опробования потоков угля с весьма крупными кусками использовано нестандартное решение: разработан баровый пробоотбиратель, отличающийся тем, что от крупных кусков угля в процессе отбора пробы отбиваются мелкие куски, составляющие пробу.

Для руд такое решение не применяется в силу их большей крепости.

Подвариант Б: отбор малых точечных проб с использованием естественного отделения их от кусков руды, например, при дроблении:

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} \neq 0, \Delta\alpha_{\text{ВСП}} = 0, \Delta\alpha_{\text{сл}} = \min$$

Имеется опыт на железной руде и на руде цветных металлов.

Если  $\Delta\alpha_{\text{сист}}$  приемлема или постоянна, то вариант отбора является приемлемым. Практическое применение на сегодняшний день отсутствует.

5. Установка рудоконтролирующих станций. Автоматическое опробование.

Подвариант А: на основе рентгенофлюоресцентного анализа:

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} \neq 0, \quad \Delta\alpha_{\text{ВСП}} = 0, \quad \Delta\alpha_{\text{сл}} = \min$$

Сравнительно малые капитальные и эксплуатационные затраты.

Ограничения по номенклатуре и массовым долям определяемых элементов.

Опыт применения существует.

Подвариант Б: на основе активационного анализа:

$$\Delta\alpha_{\text{сист}} = 0, \quad \Delta\alpha_{\text{ВСП}} = 0, \quad \Delta\alpha_{\text{сл}} = \min$$

Необходимо использование линейных ускорителей электронов.

Опыт существует, но является недостаточным [72, 234, 235, 236].

Вариант приемлемый для практики. На сегодняшний день лаборатория активационного анализа функционирует в АО «Павлик».

Все варианты отбора точечных проб от крупнокусковых продуктов сопровождается несколькими значимыми погрешностями. Это обстоятельство необходимо учитывать при общей оценке системы опробования в части ее функционирования и возможного совершенствования.

### 5.3. Схемы и определения высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб

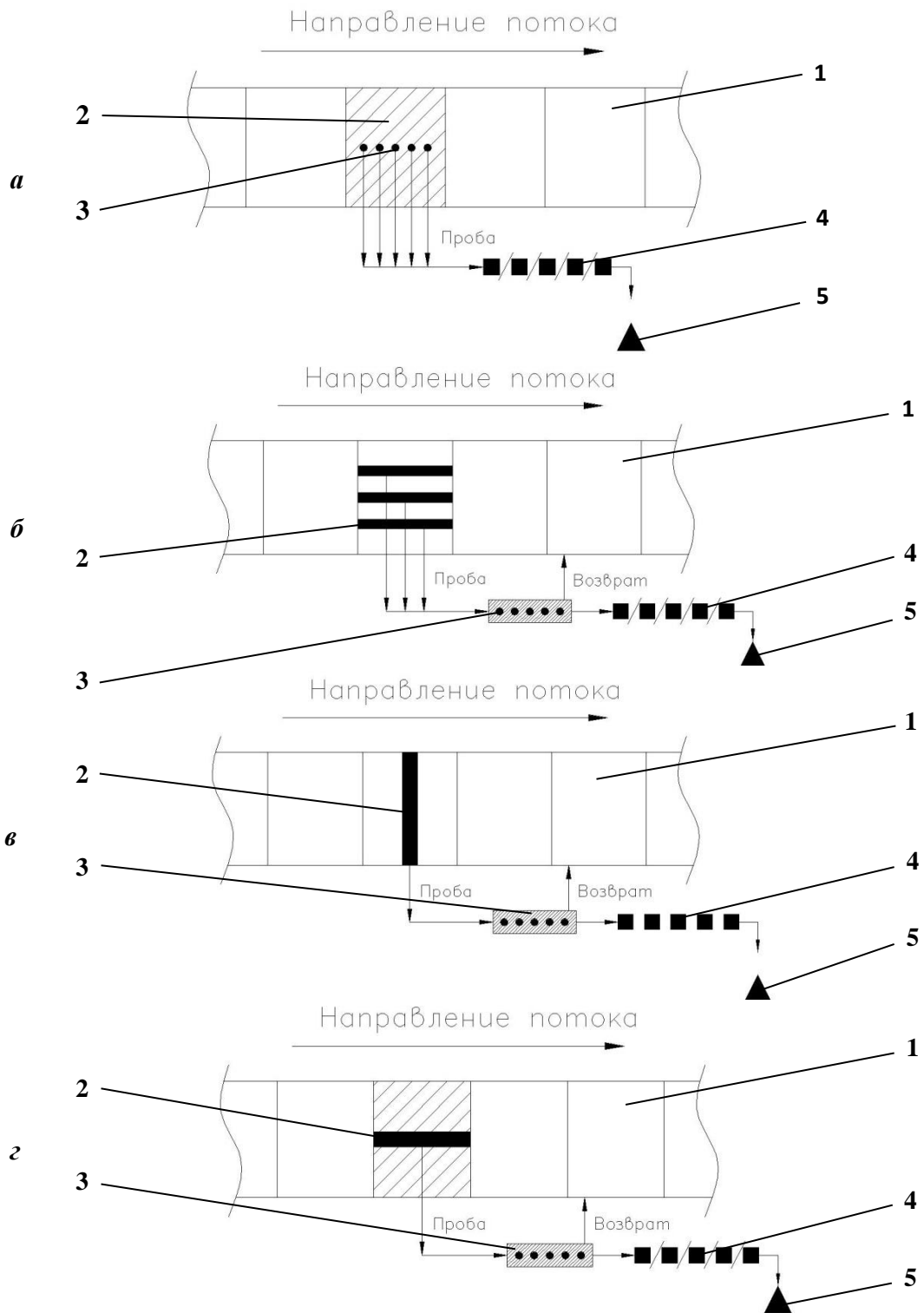
Необходимость и преимущества отбора увеличенного числа точечных проб обоснованы при изучении систематических и случайных погрешностей опробования. Также доказано, что за счет отбора большого количества точечных проб имеется возможность устранить новые специфические погрешности опробования, связанные с асимметрией распределения массовой доли ценного компонента. Предложенный высокочастотный способ отбора и сокращения проб позволяет выполнить опробование в условиях действующих стандартов на опробование с учетом предельной минимизации случайной погрешности. Случайная погрешность отбора и сокращения проб, не превышающая 0,5 % относительных, обусловлена преимущественно природной неоднородностью продуктов обогащения и является технологическим пределом достоверности процесса опробования. Такое опробование должно выполняться при условии, что операции пробоподготовки сопровождаются минимальными случайными погрешностями за счет высокочастотного отбора и уменьшения крупности.

*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.

С целью устранения перечисленных недостатков различных способов опробования, а также приближения достоверности результата опробования к ее технологическому пределу, предложен новый высокочастотный комбинированный способ отбора и сокращения проб, позволяющий исключить недостатки существующих способов и повысить общее качество процесса опробования [46, 106, 164, 237, 238, 239].

Высокочастотный комбинированный способ отбора и сокращения проб заключается в том, что от сравнительно малых элементов опробуемого массива способом поперечного или продольного пересечения отбираются начальные (точечные) пробы, от которых, в свою очередь, при интенсивном усреднении отбираются последовательно вторичные точечные пробы и микропорции, формирующие необходимую объединенную пробу за контрольный период. На рисунке 5.6 показаны варианты высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб, применяемые в зависимости от условий выполнения опробования и параметров опробуемого массива.

Если весь опробуемый массив, условно разделенный на небольшие элементы, может быть направлен в пробоотбирающее устройство (рисунок 5.6а), то поступивший в устройство элемент потока 2, являющийся элементом начальной пробы, интенсивно перемешивается, и от него отбираются вторичные точечные пробы малой массы 3, формирующие непрерывный поток микропорций 4 от всех элементов потока. На выходе пробоотбирающего устройства будет сформирована объединенная проба 5.



1 – элементы опробуемого массива; 2 – начальные пробы; 3 – вторичные точечные пробы;  
4 – микропорции; 5 – объединенные пробы

Рисунок 5.6 – Варианты высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб (штриховкой показаны перемешиваемые элементы потока и пробы):  
*а* – для перегружаемых масс и потоков (контейнеры, вагоны); *б* – для перемешиваемых потоков с отбором начальной пробы способом продольного пересечения; *в* – с отбором начальной пробы способом поперечного пересечения; *г* – для перемешиваемых потоков

Этот вариант используется при опробовании способом перегрузки, когда существует возможность организовать поток опробуемого продукта сравнительно

небольшой производительности, который полностью проходит через пробоотбирающее устройство или сократитель. С учетом того, что весь объем опробуемого материала направляется в сократитель, можно рассматривать такой способ опробования, как механизированный вариант способа вычерпывания. Способ применим при опробовании неподвижных продуктов в процессе разгрузки контейнеров, мешков, вагонов и т. п. Важно отметить, что выгрузка из тары выполняется сама по себе с целью дальнейшего использования выгружаемых продуктов, а операция опробования только дополняет процесс выгрузки, не являясь ее причиной.

Для сыпучих продуктов, перемещаемых конвейерами, а также потоков пульпы в трубопроводах используется способ опробования согласно рисункам 5.6б и 5.6в. От перемешанного элемента потока 1 относительно небольшой массы с помощью пробоотбирателя отбирается начальная проба 2, направляемая в сократитель, где эта начальная проба интенсивно перемешивается, и от нее отбираются вторичные точечные пробы 3, от которых, в свою очередь, отбираются микропорции 4. Микропорции, отобранные за контрольный период, формируют объединенную пробу 5.

Если возможно выполнить перемешивание опробуемого потока (как правило, для пульпы), то для опробования используется способ, показанный на рисунке 5.6г. В этом случае от перемешанного элемента потока 1 способом продольного пересечения отбирается начальная проба 2, направляемая в сократительное устройство, отбирающее вторичные точечные пробы малой массы 3, формирующие непрерывный поток микропорций 4. В итоге формируется объединенная проба 5.

Предлагаемый высокочастотный способ получил дополнительное название «комбинированный» по причине сочетания в нем элементов способа продольного пересечения потока и способа поперечного пересечения потока.

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

#### **5.4. Высокочастотный комбинированный отбор точечных проб**

Руда, добытая в карьерах и рудниках, направляется на обогатительные фабрики в крупнокусковом виде. Для управления добычей, обеспечения плановых показателей и взаимных расчетов между горным цехом и обогатительной фабрикой руду необходимо опробовать. Отбор проб от крупнокусовой руды является сложной технической задачей, так как массы отбираемых проб всегда оказываются большими. Для отбора проб вручную необходима остановка конвейера, транспортирующего руду. Масса начальной пробы от руды крупностью минус 500 мм за смену должна составлять до 25 тонн. Для отбора проб указанной массы требуется специальное оборудование.

Пробоотбиратели для крупнокусовых руд не выпускаются промышленностью серийно. Уникальные установки для опробования крупнокусовых руд, действующие на нескольких предприятиях, созданы по



индивидуальным проектам и включают в себя, помимо пробоотбирателей, еще и линии подготовки проб, состоящие из дробилок, сократителей и другого оборудования. В качестве примера таких установок можно привести автоматизированные линии опробования на ТОФ (крупность руды минус 100 мм) [5, 75], обогатительной фабрике АО «ЕВРАЗ КГОК» (крупность руды минус 40 мм) и обогатительной фабрике комбината «Ураласбест» (крупность руды минус 130 мм) [3, 6, 50]. Для углеобогачительных фабрик выпускаются скреперные пробоотбиратели, позволяющие отбирать пробы от потока угля крупностью до 300 мм с последующей подготовкой проб в проборазделочных машинах.

На большинстве горно-обогатительных предприятий указанные установки отсутствуют, вследствие чего при опробовании крупнокусковых руд ручной отбор проб применяется вынужденно. Отбор в пробу вручную кусков крупностью более 100 мм представляет известную сложность. В связи с этим на практике зачастую используется известный способ «молотка и совка». Применимость данного способа, в свою очередь, имеет ряд ограничений: для отбора проб запрещено подниматься на штабели, спускаться в бункера и транспортные средства, также запрещено откалывать пробу от куска, находящегося на конвейере. В результате принимается вынужденное решение: отбираются пробы меньшей крупности и зачастую меньшей массы [196].

Так, например, опробование кусковых медно-никелевых руд крупностью минус 500 мм выполняется с помощью лопаты (совка) шириной 235 мм с остановленного конвейера в виде поперечной полосы по ширине лопаты [3, 5]. Такое опробование показало за три месяца завышение массовой доли никеля на 12,3 % и меди на 4,6 %. Коэффициенты вариации массовой доли за месяц для указанной руды оценены для никеля в 39,3 % и для меди в 40,7 %. Относительные случайные погрешности сменных показателей составили для никеля  $(7,8 \pm 3,6)$  % и для меди  $(9,5 \pm 4,4)$  %. В итоге получен неправильный результат опробования с большой случайной погрешностью, при этом для достижения этого результата использован ручной труд и создана необходимостью трудоемкой подготовки объединенных проб.

Отдельные классы крупности любой руды по массовой доле отличаются от средней массовой доли в самой руде, поэтому отбор проб в таких ситуациях становится *неправильным* (не соответствующим принципам правильного опробования и требованиям ГОСТа), результат анализа такой пробы даст завышенный или заниженный результат, т. е. – будет характеризоваться систематической погрешностью. В тех случаях, когда имелась возможность измерить величину такой погрешности, она оказывалась в диапазоне 7 – 10 % относительных. Если ценные минералы менее крепкие, чем порода, отбор в пробу мелких классов дает завышенный результат, в противном случае – заниженный. Так как это является неизменным свойством опробуемой руды и технологии опробования, то такое завышение или занижение будет устойчивым. В результате может быть найден соответствующий поправочный коэффициент пересчета результата отбора и анализа мелких классов в *правильные* результаты анализа массовой доли в руде.

Развитие систем автоматического анализа руд и продуктов обогащения [63, 64, 65, 66, 74, 169, 240] не решает задач *правильного* опробования, так как все средства автоматического анализа выполняют выделение (отбор) проб, фактически, горстевым способом, т. е. – выполняют опробование с систематической погрешностью [55]. В то же время, известны технические решения, осуществляющие отбор в точечную пробу частиц узкого класса крупности. На железорудных обогатительных фабриках используют прибор АПМ-1М, в котором накапливается проба, состоящая из крупных зерен потока, оседающих в накопительном стакане [241]. Также имеются примеры успешного управления процессами обогащения с помощью автоматических анализаторов свойств руды или свойств флотационных пен [242, 243, 244], а также эффективного технологического контроля процессов обогащения [92]. Развитие получили промышленные системы управления потоками кусковых продуктов [73], промышленные варианты систем опробования [30] и элементного [130], а также минералогического анализов [97].

В практике опробования крупнокусковых руд используется способ «молотка и совка», при котором в пробу отбирается мелкий класс крупности, полученный от крупного куска. Если выполнять такой отбор проб не вручную, а при помощи механического пробоотбирателя, совмещающего операции отбойки мелких кусков и их отбора в пробу, то опробование можно сделать *правильным*. Пример может быть приведен из практики опробования в угольной промышленности: существует баровый пробоотбиратель ПБ-2М (производитель – Машиностроительный завод «Восток», г. Шахты), предназначенный для отбора проб от потоков угля крупностью минус 300 мм и производительностью до 5 000 т/ч. От потока угля на выгрузке с конвейера отбирается проба массой 17 кг в виде мелкого класса крупности, отбиваемого от кусков угля баровой цепью с зубцами. Материал пробы выносится зубьями цепи за пределы потока, попадая в пробоприемник. Гарантировать выполнение условия равнопредставительности всех кусков потока угля (опробуемого массива) в пробе вряд ли возможно, но постоянство условий отбора мелкого класса гарантировано. Патент на аналогичное устройство для отбора проб от потока руды был выдан в 1996 году: изобретением было предложено поместить вращающуюся фрезу в пробоотсекающую щель ковша. При помощи фрезы отбиваются мелкие частицы руды, накапливающиеся в ковше [6, 50]. В этом случае также, кроме механизации процесса, обеспечивается постоянство условий отбора в пробу мелкого класса крупности опробуемой руды.

В технологических процессах добычи и обогащения руды постоянно происходит образование мелких классов крупности в самой руде – отбойка мелких классов является постоянным технологическим явлением. В любой точке потока руды, после ее добычи из недр, уже имеется готовый мелкий класс, который возможно отобрать в пробу.

Известно, что различные классы крупности руды отличаются друг от друга по массовой доле ценного компонента, и каждый класс в отдельности по массовой доле ценного компонента отличается от среднего значения в опробуемом массиве (таблица 5.4). Таким образом, при отборе в пробу мелкого класса первый принцип *правильного* опробования явно нарушается [3, 6, 7]. При этом постоянство

формирования мелкого класса крупности обеспечивается всей технологией переработки и движения руды, а непрерывный отбор в пробу мелкого класса обеспечивает равнопредставительность в пробе всех элементов опробуемого массива.

Это означает, что в пробу возможно отбирать любой мелкий класс крупности. Таким образом возникает вопрос выбора мелкого класса крупности, отбираемого в пробу, и этот выбор связан с технологией его отбора. Так как случайная погрешность отбора пробы предопределяется числом точечных проб, то лучшим решением будет отбор в пробу частиц с крупностью, необходимой для анализа, что исключает операции подготовки пробы. Для анализа необходим класс крупности минус 0,1 мм, состоящий из пылинок, образующихся при дроблении руды или при ее перегрузке в процессе транспортировки. Достаточно в течение контрольного периода, например, смены, выполнить сбор пыли, образующейся при дроблении руды. В итоге будет получена проба с минимальной случайной погрешностью, так как в нее будут отобраны несколько миллионов точечных проб-пылинок.

Таблица 5.4 – Массовые доли компонентов в различных классах крупности дробленной руды

Класс крупности, мм	Выход класса крупности, %	Массовые доли, %			
		медь	цинк	сера	железо
+20	26,43	1,04	0,26	35,60	34,34
-20+10	21,43	0,97	0,13	36,70	34,34
-10+5	15,00	0,81	0,16	36,90	34,55
-5+3	7,14	0,94	0,16	34,90	32,87
-3+1	9,29	0,82	0,16	34,60	32,97
-1+0,5	4,29	0,67	0,16	33,00	31,08
-0,5+0,315	5,00	0,62	0,19	33,70	31,39
-0,315+0,125	3,97	0,88	0,19	31,90	30,76
-125+0,074	1,79	0,77	0,16	30,70	29,71
-0,074+0,044	1,55	0,63	0,13	36,70	33,50
-0,044	4,12	0,95	0,16	25,20	25,10
Итого	100,00	0,90	0,18	35,04	33,23

Непрерывность отбора проб гарантирует отсутствие вероятных систематических погрешностей, появляющихся в результате пропуска отдельных локальных неоднородностей потока опробуемого продукта.

Если сбор пыли оказывается невозможен, возможно отбирать в пробу самый мелкий класс крупности при выгрузке опробуемого продукта с конвейера или непосредственно с ленты самого конвейера.

В штатном режиме на обогатительной фабрике за смену отбирается небольшое число точечных проб ( $N_T = 8$ ) массой по 50 кг (масса точечной пробы зависит от погонной нагрузки на конвейер). Масса объединенной пробы в таком случае составит 400 кг, крупность объединенной пробы минус 50 мм (крупные куски в пробу не отбираются сознательно). Коэффициент вариации за смену

$V = 7\%$ . В этом случае относительная случайная погрешность отбора сменной пробы составит

$$P_{\alpha} = \frac{2V}{\sqrt{N_T}} = \frac{2 \cdot 7}{\sqrt{8}} = 5\%$$

Систематическая погрешность результата опробования в связи с отбором в пробу узкого класса крупности (минус 50 мм) зависит от свойств руды. Отбор в объединенную пробу за смену большого числа точечных проб в виде частиц руды крупностью менее 0,1 мм приводит к другому результату.

Если отобрать объединенную пробу массой  $q = 5$  граммов, то число  $N_{\text{кт}}$  точечных проб составит 3,8 миллиона:

$$N_{\text{кт}} = \frac{q}{f \cdot \rho \cdot d^3} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{0,4 \cdot 3000 \text{ кг/м}^3 \cdot (0,1 \cdot 10^{-3})^3 \text{ м}^3} = 3,8 \cdot 10^6.$$

Покусковой коэффициент вариации [6] для руды с массовой долей меди  $\alpha = 2\%$  и массовой долей меди в минерале  $\beta_M = 34,6\%$  составит

$$V_k = \sqrt{\frac{\rho_M \cdot \beta_M}{\rho_{\text{п}} \cdot \alpha}} \cdot 100 = \sqrt{\frac{4100 \cdot 34,6}{3000 \cdot 2}} \cdot 100 = 486\%.$$

Относительная случайная погрешность будет составлять

$$P_{\text{к}\alpha} = \frac{2 \cdot V_k}{\sqrt{N_{\text{кт}}}} = \frac{2 \cdot 486}{\sqrt{3,8 \cdot 10^6}} = 0,5\%.$$

Сопоставление вариантов отбора проб показано в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Показатели отбора точечных проб разных классов крупности

Показатели	Отбор проб крупностью минус 50 мм	Отбор проб крупностью минус 0,1 мм
Число точечных проб в смену	8	3 800 000
Масса объединенной пробы в смену	400 кг	5 г
Остановка конвейера	необходима	не требуется
Отбор точечной пробы	ручной трудоемкий	механический
Относительная случайная погрешность отбора объединенной пробы	5 %	0,5 %
Подготовка проб	необходима	нет необходимости
Систематическая погрешность	есть	есть

Преимущества отбора в пробу узкого класса крупности (менее 0,1 мм) по сравнению с традиционным вариантом отбора проб (менее 50 мм) очевидны.

Общим недостатком отбора в пробу узких классов крупности является наличие систематической погрешности [72]. Это означает, что в результаты опробования необходимо вводить поправку с использованием уравнения

$$\alpha_{\text{ф}} = k \cdot \alpha_{\text{ук}}. \quad (5.3)$$

Имеется два варианта определения коэффициента  $k$ :

1. Существует точка *правильного* опробования руды. Как правило, это точка опробования руды на обогатительной фабрике, обычно после измельчения на сливе классификатора. В этом случае

$$k = \frac{\bar{\alpha}_{\text{ф}}}{\alpha_{\text{ук}}}. \quad (5.4)$$

где  $\bar{\alpha}_{\text{ф}}$  – среднее значение массовой доли ценного компонента в руде за месяц, найденное *правильным* опробованием на обогатительной фабрике;  $\alpha_{\text{ук}}$  – среднее значение массовой доли ценного компонента в руде за месяц, найденное по результатам отбора в пробу узкого класса крупности.

2. Точки *правильного* опробования кусковой руды не существует.

Так как получение коэффициента  $k$  следует делать на основе большого числа усредненных результатов опробования, для данной цели можно использовать товарный баланс. Формула невязки товарного баланса  $\Delta_{\text{к}}$

$$\Delta_{\text{к}} = K_{\beta\text{T}} + K_{\text{г}} - K_{\alpha} + \left( \sum_j K_{j \text{кон}} - \sum_j K_{j \text{нач}} \right). \quad (5.5)$$

где  $K_{\beta\text{T}}$  – масса определяемого компонента в товарной продукции;  $K_{\text{г}}$  – то же в хвостах;  $K_{\alpha}$  – то же в руде;  $\sum_j K_j$  – массы металла в емкостях фабрики на конец и начало контрольного периода (месяц).

Так как масса компонента в руде равна

$$K_{\alpha} = M_{\alpha \text{сух}} \cdot \bar{\alpha}_{\text{ф}},$$

то

$$\bar{\alpha}_{\text{ф}} = \frac{K_{\beta\text{T}} + K_{\text{г}} + \left( \sum_j K_{j \text{кон}} - \sum_j K_{j \text{нач}} \right) - \Delta_{\text{к}}}{M_{\alpha \text{сух}}}. \quad (5.6)$$

Если принять разность масс в емкостях на начало и конец месяца пренебрежимо малой, а также  $\Delta_k = 0$ , то

$$\bar{\alpha}_{\text{ф}} = \frac{K_{\beta\text{T}} + K_{\text{г}}}{M_{\alpha \text{ сух}}} = \frac{K_{\beta\text{T}}}{M_{\alpha \text{ сух}}} + \gamma_{\text{г}} \cdot \bar{\vartheta}_{\text{ф}}. \quad (5.7)$$

где  $\gamma_{\text{г}}$  – выход хвостов, д.е.,  $\bar{\vartheta}_{\text{ф}}$  – массовая доля компонента в хвостах.

Так как величина  $M_{\text{г сух}}$ , например, на ЗИФ, равна величине  $M_{\alpha \text{ сух}}$ , то  $\gamma_{\text{г}} = 1$ , при этом фактическая средняя массовая доля золота в руде будет равна

$$\bar{\alpha}_{\text{ф}} = \frac{K_{\beta\text{T}}}{M_{\alpha \text{ сух}}} + \bar{\vartheta}_{\text{ф}}. \quad (5.8)$$

В этом случае в расчете используются только три величины:  $K_{\beta\text{T}}$  – масса золота в готовой продукции;  $M_{\alpha \text{ сух}}$  – сухая масса переработанной руды;  $\bar{\vartheta}_{\text{ф}}$  – среднее значение массовой доли золота в хвостах. Данные величины за месяц на обогатительных фабриках обычно известны и используются при составлении товарного баланса.

На медно-цинковой обогатительной фабрике в зоне пыления у одной из дробилок была установлена емкость для сбора оседающей из воздуха пыли. За смену в емкости собиралось несколько граммов пыли, которая передавалась на анализ (получены результаты  $\alpha_{\text{ук}}$ ). Опробование руды на обогатительной фабрике выполняется на сливе классификатора перед флотацией, в результате чего получается *правильный* результат опробования за эту же смену  $\alpha_{\text{ф}}$ . Наблюдения проводились в течение 14 смен. Полученные результаты приведены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Результаты определения массовой доли меди на обогатительной фабрике и при помощи отбора в пробу узкого класса крупности

Смена	Результаты опробования	
	$\alpha_{\text{ф}}$	$\alpha_{\text{ук}}$
1	1,96	2,09
2	2,01	2,27
3	2,15	2,32
4	1,99	2,19
5	2,36	2,58
6	2,20	2,39
7	2,13	2,17
8	2,01	2,13
9	2,34	2,41
10	2,12	2,28
11	2,34	2,44
12	1,67	1,88
13	2,05	2,27
14	2,21	2,36
Среднее	2,11	2,27

Средние значения  $\bar{\alpha}_{ук}=2,27\%$  и  $\bar{\alpha}_{ф}=2,21\%$  :

$$k = \frac{\bar{\alpha}_{ф}}{\bar{\alpha}_{ук}} = \frac{2,11}{2,27} = 0,93.$$

Различия массовой доли в руде и классе крупности минус 0,1 мм [79, 80, 245, 246], а также коэффициенты пересчета  $k$  для разных руд приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Различие массовой доли ценного компонента в руде и классе минус 0,1 мм и величины коэффициента  $k$

Руда	Массовые доли		Коэффициенты пересчета
	в руде	в классе минус 0,1 мм	
Медная	0,426 %	0,544 %	0,78
Золотая	1,44 г/т	1,4 г/т	1,03
Золотая	1,09 г/т	1,02 г/т	1,07
Благородные металлы	1,33 г/т	2,1 г/т	0,63
Благородные металлы	1,41 г/т	2,6 г/т	0,54
Золотая	1,77 г/т	1,36 г/т	1,30

При отборе в пробу мелких классов крупности руды полученный результат опробования будет иметь систематическую погрешность, как и при трудоемком ручном отборе пробы от крупнокускового материала. При этом результат по мелким классам крупности будет получен с минимальной случайной погрешностью за счет большого числа микроточечных проб (пылинок) в течение смены. Градуировочная зависимость, проведенная через две надежно установленные точки с координатами  $(\bar{\alpha}_{ук}, \bar{\alpha}_{ф})$  и  $(0,0)$  позволяет исключить систематическую погрешность пересчетом по уравнению

$$\alpha_{ф} = k \cdot \alpha_{ук}.$$

Отбор в объединенную пробу мелких классов крупности руды в течение смены может быть механизирован и не требует остановок конвейера и дополнительного ручного труда, а проба будет иметь малую крупность и сравнительно небольшую достаточную массу.

Предельным вариантом высокочастотного отбора проб будет покусковой отбор пылевидных фракций, при котором может быть получена проба, полностью пригодная для анализа. При отборе за смену, например, 3,8 миллионов частиц интервал времени между отбором точечных проб составит 0,011 с. или 88 точечных проб в секунду. Относительная случайная погрешность покускового опробования составляет не более 0,5 % относительных. Конструкции пробоотбирателей пылевой фракции могут быть различными. Простейшим

решением по части такой конструкции является установка в зоне пыления емкости, собирающей оседающую пыль.

Отбор пылевых фракций в объединенную пробу позволит решить проблему опробования руд на горных предприятиях и на обогатительных фабриках. Высокочастотный отбор точечных проб мелких классов крупнокусковой руды обеспечивает минимальную случайную погрешность объединенной пробы. Систематическая погрешность отбора в пробу мелкого класса крупности устраняется надежно устанавливаемой градуировочной характеристикой, проходящей через две точки ( $\bar{\alpha}_{ук}$ ,  $\bar{\alpha}_{ф}$ ) и (0,0).

Использование высокочастотного отбора мелких классов крупности от крупнокусковых руд возможно как при наличии существующего *правильного* опробования, так и при его отсутствии с использованием для градуировки сведений из товарного баланса обогатительной фабрики.

Конструкция пробоотбирателей мелких классов крупности позволяют отбирать пробы необходимой для анализа крупности и массы без выполнения операций подготовки пробы. Конструкция и устройство таких пробоотбирателей могут быть предельно простыми.

## 5.5. Методические основы учета погрешностей результата опробования

### 5.5.1. Учет известных погрешностей результата опробования в стандартах

Как было указано выше, ни один из существующих стандартов не учитывает действие ВСП, а ограничивается только систематической и случайной погрешностями. Единственным примером учета ВСП на уровне СП на сегодняшний день является методика опробования отходов, содержащих благородные металлы, разработанная для ОАО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов» (ОАО «ЕЗ ОЦМ»). В таблице 5.8 приведены значения случайных погрешностей и ВСП результата опробования для некоторых золотосодержащих продуктов [139]. Методика, разработанная для ОАО «ЕЗ ОЦМ», является исключением из правил в части присутствия в ней алгоритма расчета ВСП.

Таблица 5.8 – Расчетные погрешности результата опробования золотосодержащих продуктов в ОАО «ЕЗ ОЦМ»

Наименование продукта	Относительная погрешность отбора пробы массой 0,1 кг, %	
	случайная	ВСП
Шлаки	4,25	-0,093
Свинцово-цинковые осадки	0,84	-0,007
Бой тиглей	4,20	-0,086
Зола общезаводская	13,40	-0,232



Действующие стандарты, регламентирующие операции отбора и подготовки проб продуктов обогащения, предусматривает технические и методические решения, направленные на исключение из результата опробования систематической погрешности и обеспечение допустимого значения случайной погрешности [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 170]. Для этого в стандартах установлены основные положения процедуры опробования:

- порядок выполнения операций опробования для различных по характеристикам продуктов;

- перечень применяемых способов подготовки (обработки) проб;

- перечень используемого оборудования, инструментов и приспособлений;

- порядок учета, хранения и внутреннего движения опробованных продуктов и полученных проб.

В стандартах приведены требования к инструментам и оборудованию с целью исключения систематических погрешностей.

Характеристики ручного пробоотборного инструмента и механического пробоотборного оборудования, а также правила его применения при отборе проб устанавливаются в соответствии с требованиями, исключающими систематическую погрешность опробования [12, 20, 21, 145]:

- ширина щели пробоотборного инструмента минимум в три раза превышает размер максимального куса опробуемого материала;

- скорость пересечения потока пробоотборным инструментом постоянна и не превышает 0,6 м/с;

- объем пробоотборного инструмента не менее, чем на 25 % превышает максимальный объем точечной пробы;

- длина щели пробоотборного инструмента превышает глубину опробуемого потока.

Снижение величины случайной погрешности результата опробования определяется заданием количественных параметров операций отбора и подготовки проб. Так, в частности, масса точечной пробы, коэффициент вариации массовой доли основного определяемого компонента (неоднородность состава) и число точечных проб согласно соответствующим требованиям стандарта определяются расчетом.

Требования ГОСТ в обязательном порядке находят отражение в ОСТ и СТП, а также во внутренних инструкциях и методиках предприятий, на которых выполняется опробование. При этом требования таких документов к выполнению операций опробования несут в себе более подробную информацию, так как включают в себя сведения об используемом оборудовании строго определенного подразделения (участка, цеха, лаборатории) и отличительных особенностях схемы отбора и подготовки проб от приведенной в первоисточнике. Так, например, в параграфе «Оборудование и инструменты» технологической инструкции ОТК требования к инструменту и оборудованию могут включать в себя перечисление всего оборудования и инструмента, используемого в процессе отбора и подготовки проб. Также в указанных документах может быть прямая ссылка на типоразмер и марку (производителя) оборудования.

Нередко после перечисления всего оборудования и инструмента в тексте

документа указывается, что при выполнении работ по отбору и подготовке проб допускается использование оборудования и инструмента, технические характеристики которого не уступают указанному применительно к требованиям выполняемых операций.

Состав стандартов предусматривает возможность экспериментального определения погрешностей опробования [14, 15]. Методики экспериментального определения погрешностей приведены в соответствующих ГОСТу и включают в себя алгоритмы определения случайных погрешностей на действующей обогатительной фабрике. ГОСТ 14180-80 (Приложение 3. Обязательное) предполагает проведение эксперимента по определению случайной погрешности отбора и подготовки проб (по ГОСТ 14180-80 – случайной погрешности опробования), а также случайной погрешности анализа [15]. Схема проведения эксперимента по определению погрешностей показана на рисунке 5.7.

В соответствии со схемой от опробуемой партии следует отобрать удвоенное число точечных проб и сформировать из них две взаимозаменяемые объединенные пробы. Объединенные пробы формируются из четных и нечетных точечных проб. Таким образом необходимо отобрать взаимозаменяемые объединенные пробы не менее, чем от десяти партий. От каждой из объединенных проб необходимо подготовить по две параллельные лабораторные пробы, в которых выполняется определение массовой доли ценных компонентов. Полученные результаты подлежат обработке в соответствии с указанным в методике алгоритмом.

При формировании объединенных проб и их подготовке необходимо обеспечить выполнение следующих условий:

- массовая доля определяемого компонента в ходе выполнения эксперимента не должна изменяться более, чем в два раза;
- в течение всего эксперимента точечные пробы должны отбираться одним и тем же пробоотборником или инструментом одним и тем же способом;
- если сформировать объединенные пробы от десяти партий подряд затруднительно, эксперимент следует разбить на приемлемое количество периодов, в течение которых возможно выполнить последовательное опробование нескольких партий;
- обеспечить полную идентичность подготовки объединенных проб как по режиму работы оборудования, так и по периодичности выполняемых операций.

Выполнение указанного эксперимента на действующей обогатительной фабрике является достаточно длительным и трудоемким мероприятием.

В таблице 5.9 приведен пример плана выполнения работ по определению погрешностей опробования исходной руды.

В штатном режиме точечные пробы исходной руды отбираются с периодичностью 30 минут. Следовательно, в ходе выполнения эксперимента периодичность отбора точечных проб уменьшается до 15 минут. В результате за каждую смену (восемь часов) взамен одной объединенной пробы из 16 точечных проб будут получены две объединенные пробы из 16 точечных проб каждая. При подготовке лабораторных проб в ОТК будет выполнен двойной объем работ, а химико-аналитическая лаборатория выполнит в два раза больше определений. Также необходимо отметить, что выполнение всех условий эксперимента в

течение десяти смен подряд весьма затруднительно – остановка транспортирующего руду конвейера, неполадки в работе механического пробоотборника или нехватка персонала ОТК приведут к исключению из эксперимента всей смены целиком.

Несмотря на объективные сложности, сопровождающие работы по определению погрешностей опробования по ГОСТ 14180-80 [15], такие работы для некоторых обогатительных фабрик периодически выполняются.

В таблице 5.10 приведены результаты экспериментального определения случайной погрешности опробования (среднего квадратичного отклонения) для меди, золота и серебра в различных продуктах обогатительной фабрики.

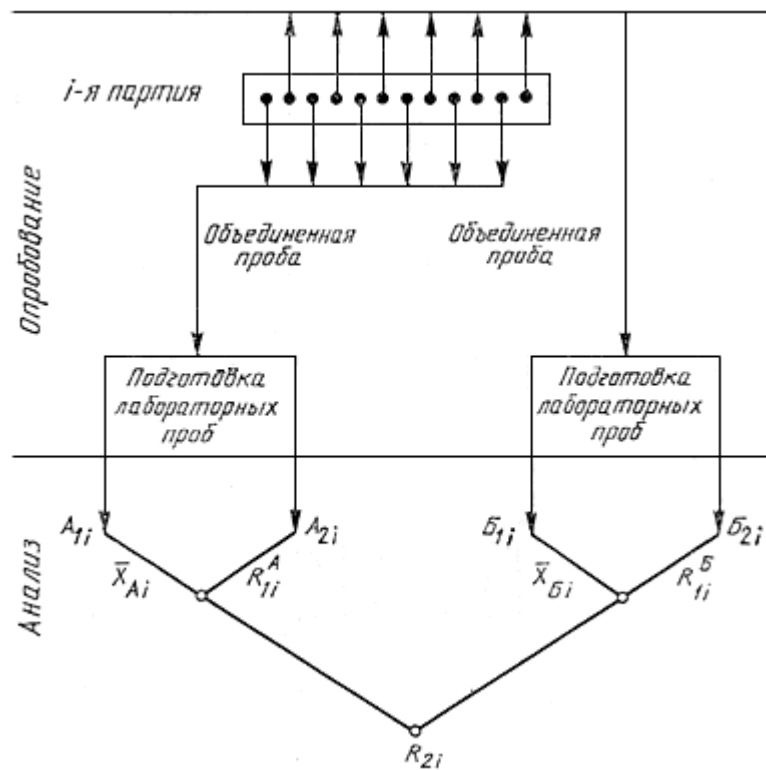


Рисунок 5.7 – Схема проведения эксперимента по определению случайных погрешностей отбора и подготовки проб в соответствии с ГОСТ 14180-80

Таблица 5.9 – План работ по экспериментальному определению погрешностей опробования исходной руды обогатительной фабрики

№ п/п	Наименование работ	Кол-во проб	Исполнитель
1	Отбор точечных проб. Формирование накопленных объединенных сменных проб	320	ОТК
2	Подготовка лабораторных проб	20	ОТК
3	Определение массовой доли ценных компонентов	40 (20 и 20)	аналитическая лаборатория
4	Обработка результатов	---	ОТК

Таблица 5.10 – Результаты экспериментального определения случайных погрешностей опробования продуктов обогащения

Наименование продукта	Наименование определяемого компонента	Случайная погрешность опробования	
		% абс.	% отн.
Руда исходная дробленая	Медь	0,08	1,40
	Золото	0,04	11,12
	Серебро	0,30	3,82
Концентрат медный	Медь	0,04	0,10
	Золото	0,08	4,20
	Серебро	0,07	3,93
Хвосты отвальные	Медь	0,003	5,110
	Золото	0,003	6,810
	Серебро	---	---

Приведенные в таблице 5.10 погрешности опробования в соответствии с содержанием методики ГОСТ 14180-80 являются погрешностями отбора и подготовки проб.

Методику определения фактической погрешности отбора и подготовки проб, схожую с методикой ГОСТ 14180-80, содержит ряд других стандартов, в частности, ГОСТ 17260-87 [170].

Некоторые стандарты в своем составе содержат информацию о погрешностях отбора проб, подготовки проб и анализа проб, изменяющихся в зависимости от массы партии и показателей качества [3]. Так, ГОСТ 28192-89 [16] включает в себя методику расчета процедуры опробования партии отходов цветных металлов и результаты расчета допустимой погрешности результата опробования по этой методике.

### **5.5.2. Особенности содержания и применения требований Государственного стандарта на методы отбора и подготовки проб руд и концентратов цветных металлов**

Государственный стандарт ГОСТ 14180-80 устанавливает требования к методам отбора и подготовки проб для химического анализа и определения содержания влаги для руд и концентратов цветных металлов [15]. Текст ГОСТ 14180-80 содержит требования к оборудованию для отбора и подготовки проб, подготовительным и вспомогательным операциям, методам отбора и подготовки проб, а также устанавливает требования безопасности при выполнении операций отбора и подготовки проб.

В тексте указанного ГОСТа присутствуют ошибки и опечатки, которые могут привести к получению некорректных результатов расчета и двусмысленному толкованию изложенных требований. Также стандарт содержит положения, либо не раскрывающие техническую суть вопроса в полной мере, либо допускающие произвольное толкование тех или иных требований [108].

Рекомендованное изменение стандартов на опробование, связанное с действием новых специфических погрешностей и необходимостью внедрения элементов комбинированного способа отбора и подготовки проб, будет недостаточно полным без предварительного устранения указанных недостатков ГОСТ 14180-80.

Ошибки и опечатки, содержащиеся в тексте ГОСТ 14180-80 и сам текст стандарта с учетом внесенных исправлений приведены ниже (ошибки и опечатки выделены жирным курсивом):

1. Ошибка в расчете периода отбора точечных проб при опробовании движущегося потока:

Текст стандарта с ошибкой:

«3.6. Число точечных проб:

3.6.1. При опробовании партии руды или концентрата, находящихся в неподвижном состоянии, минимальное число точечных проб ( $N$ ) устанавливают в соответствии с массой партии и коэффициентом вариации содержания компонента и оно должно быть не менее вычисленного по формуле:

$$N = 0,075V\sqrt{M}, \quad (2)$$

где  $V$  - коэффициент вариации, %;

$M$  - масса опробуемой партии, т.

(Измененная редакция, Изм. N 2).

3.6.2. При опробовании движущегося потока руды (или концентрата) в процессе погрузки или разгрузки транспортных емкостей, из которых формируется партия продукции, минимальное число точечных проб ( $N$ ) вычисляют по формуле:

$$N = \frac{4V^2}{\Delta_r^2}, \quad (3)$$

где  $V$  - коэффициент вариации содержания контролируемого компонента, установленный в условиях и за период времени погрузки (разгрузки) партии руды или концентрата, масса которой определена договорным соглашением, %. При опробовании по единой методике партий различных марок концентратов (сортов руд) допускается коэффициент вариации определять на партиях наибольшей неоднородности;

$\Delta_r$  - верхняя граница допустимой относительной погрешности отбора проб при доверительной вероятности  $P=0,95$ , %.

Верхняя граница допустимой относительной погрешности принимается предприятием не менее относительного значения допустимого расхождения между результатами химического анализа на предприятии ( $\Delta_{\text{хг}}$ ).

(Введен дополнительно, Изм. N 2).

3.6.4. Период отбора точечных проб ( $T$ ) в минутах вычисляют по формуле:

$$T = \frac{60M}{Q \cdot N}, \quad (5)$$

где  $M$  - масса опробуемой партии руды или концентрата, т;

$Q$  - производительность опробуемого потока, т/ч;

$N$  - **число точечных проб, вычисленное по формуле (2)**».

Пояснения:

Для расчета периода отбора точечных проб по формуле (5) п. 3.6.4 ГОСТом предлагается использовать число точечных проб, найденное по формуле (2) для опробования руды, находящейся в неподвижном состоянии. Данное условие

является ошибочным. Для расчета периода отбора точечных проб необходимо использовать число точечных проб, найденное для опробования движущегося потока руды. Согласно физическому смыслу формул п. 3.6, выполненный по данным формулам расчет требованиям настоящего стандарта не соответствует. Для соответствия расчета предъявляемым требованиям п. 3.6.4 необходимо применять в следующей редакции:

«3.6.4. Период отбора точечных проб ( $T$ ) в минутах вычисляют по формуле:

$$T = \frac{60M}{Q \cdot N}, \quad (5)$$

где  $M$  - масса опробуемой партии руды или концентрата, т;

$Q$  - производительность опробуемого потока, т/ч;

$N$  - **число точечных проб, вычисленное по формуле (3)**».

2. Некорректная запись расчета среднего квадратичного отклонения при определении коэффициента вариации согласно справочному Приложению 1:

Текст стандарта с ошибкой:

*«Формула для расчета среднего квадратичного отклонения из таблицы «Пример расчета вариации содержания меди в медном концентрате»:*

$$\sigma = \frac{6,377}{14} = 0,67$$

Пояснения:

Из текста справочного Приложения 1:

«...где  $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение в абс. %, вычисляемое по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_s} (X_i - \bar{X})^2}{N_s - 1}}, \quad (2)$$

где  $X_i$  - содержание металла в  $i$ -й точечной пробе».

**Правильный расчет по формуле (2) предполагает извлечение квадратного корня**, в результате чего получено значение среднего квадратичного отклонения 0,67 %, в противном случае, при делении числа 6,377 на число 14, оно будет составлять 0,46 %.

3. Неточное объяснение принципа и порядка ручного отбора точечных проб пульпы в обязательном Приложении 2:

Текст стандарта с неточным объяснением:

«4. При ручном отборе проб пульпы используется кружка вместимостью 1 л со **целевидным носком шириной не менее трехкратной величины максимальных частиц опробуемого материала**. Отбор точечных проб пульпы кружкой следует производить **на перепаде потока и добиваться постепенного заполнения кружки через целевидный носок при равномерном пересечении потока пульпы по всей его ширине**».

Пояснения:

1. В тексте ГОСТ 14180-80 не предусмотрена ситуация, когда при отборе точечных проб пульпы на перепаде потока длина щелевидного носка кружки окажется меньше глубины (толщины) пересекаемого потока. В этом случае точечная проба может быть отобрана по всей ширине потока, но не будет отобрана по всей его глубине.

2. Текстом ГОСТ 14180-80 предусматривается, что при постепенном заполнении кружки через щелевидный носок при пересечении потока перемещение кружки может быть выполнено с изменяющейся скоростью. Также при отборе точечной пробы момент заполнения кружки может произойти при неполном пересечении потока по его ширине. При этом требование отбора точечной пробы фиксированного объема (один литр) не является обязательным, так как достаточный объем точечной пробы может оказаться менее одного литра.

При указанных обстоятельствах точечная проба будет сформирована из условных частей потока в пропорции, не соответствующей существующей пропорции между этими частями в опробуемом потоке. Таким образом, отбор точечной пробы не будет равнопредставительным.

Указанный параграф обязательного Приложения 2 следует применять в следующей редакции:

«4. При ручном отборе проб пульпы используется кружка вместимостью 1 л со щелевидным носком шириной не менее трехкратной величины максимальных частиц опробуемого материала. Отбор точечных проб пульпы кружкой следует производить на перепаде потока *с постоянной линейной скоростью перемещения кружки относительно потока* и добиваться постепенного заполнения кружки *до необходимого объема точечной пробы* через щелевидный носок при *однократном* равномерном пересечении потока пульпы по всей его ширине. *При опробовании потока пульпы, глубина которого превышает длину рабочей поверхности щелевидного носка кружки, отбор точечных проб пульпы выполнять при помощи ручного щелевого пробника, длина рабочей поверхности которого превышает глубину потока на 20 – 25 %*».

4. Ошибка в названии типа пробоотбирателя для опробования потока в обязательном Приложении 2:

Текст стандарта с ошибкой:

«15. Методика, изложенная в настоящем приложении, распространяется на технологическое опробование промежуточных пульповых продуктов и отвальных хвостов. При оперативном контроле качества промежуточных продуктов допускается применять *пробоотбиратели статистического типа*, использующие принцип отбора продольной струи потока...».

Пояснения:

Не существует понятия «статистический тип пробоотбирателя». Для отбора пробы от потока пульпы могут быть использованы пробоотбиратели, не имеющие подвижных элементов конструкции. Проба в таких пробоотбирателях отбирается за счет пересечения потоком статичного пробоотсекающего элемента (отсекателя). Исходя из этого тип пробоотбирателя по принципу действия носит

название «статический». Указанное положение необходимо применять в следующей редакции:

«15. Методика, изложенная в настоящем приложении, распространяется на технологическое опробование промежуточных пульповых продуктов и отвальных хвостов. При оперативном контроле качества промежуточных продуктов допускается применять **пробоотбиратели статического типа**, использующие принцип отбора продольной струи потока...».

Указанные ошибки и опечатки являются очевидными, так как их содержание противоречит логике и цели требований ГОСТ 14180-80, математическим правилам и технической сути описываемых явлений.

Рассматриваемый стандарт не содержит определений важных для количественной оценки процессов опробования понятий и величин (выделены жирным курсивом):

1. Отсутствует понятие **щели, как пробоотсекающего устройства**. Исходя из текста ГОСТ 14180-80, щель определяется только «отсекающими краями» и расстоянием между ними (п. 2.1).

На самом деле **щель**, как пробоотсекающий инструмент, помимо отсекающих краев, **должна иметь определенную высоту в направлении, совпадающем с направлением движения опробуемого потока**. Это обеспечит условия, при которых куски (частицы) опробуемого потока будут входить в щель без потери скорости и изменения направления движения.

Помимо высоты, **щель должна иметь строго определенную форму по отсекающим краям** – должно быть определено взаимное расположение отсекающих краев. Это вызвано необходимостью изменения взаимного расположения отсекающих краев в зависимости от траектории пересечения потока. Примером может являться секторный пробоотбиратель, у которого отсекающие края отсекателя (ножа) расположены под углом друг к другу.

2. В ГОСТ 14180-80 не указано, какая **скорость** имеется в виду (**угловая, линейная, тангенциальная или составляющие скорости: тангенциальная, перпендикулярная скорости потока**). Несмотря на отсутствие данного описания, требования стандарта к скорости пересечения следует понимать в следующем контексте:

**«...с постоянной составляющей скорости пробоотсекающего устройства, перпендикулярной скорости потока».**

Следует отметить, что приведенные исправления и дополнения внесены на основании представлений о процессах опробования, актуальных на момент разработки и внесения изменений в рассматриваемый стандарт [6, 7, 27, 32, 43, 53, 86, 93, 138, 247]. Данные исправления и дополнения необходимо внести в новую редакцию ГОСТ 14180-80.



### 5.5.3. Оценка соответствия точки опробования требованиям Государственных стандартов

Основные требования к отбору и подготовке проб руд и продуктов обогащения изложены в действующих ГОСТах. Требования распространяются на процесс опробования, а также на оборудование и инструмент для отбора и подготовки проб [14, 15, 16, 19, 21, 170]. Основными контролируруемыми параметрами соответствия являются следующие:

1. Процесс опробования:

- число (периодичность отбора) точечных проб;
- масса (объем) точечной пробы;
- минимальная масса пробы после сокращения начальной пробы;
- отсутствие изменения состава пробы в процессе отбора и подготовки.

2. Оборудование (инструмент) для отбора и подготовки проб:

- соответствие ширины щели пробоотсекателя максимальной крупности опробуемого продукта;
- соответствие объема пробоотсекающих инструментов и накопительных емкостей объему точечной (накопленной) пробы;
- соответствие длины щели пробоотсекателя ширине потока опробуемого продукта;
- механическая исправность оборудования.

При очевидности перечисленных параметров и наличии критериев контроля соответствия во многих случаях остается нерешенным вопрос о величине отклонения точки опробования от требований ГОСТа и допустимом пределе этого отклонения [56, 101, 136, 201]. Существуют примеры проверки точек опробования на соответствие требованиям, когда в одном случае несоответствие было установлено по причине трехкратного занижения числа точечных проб, а в другом случае – по причине использования при ручном отборе проб молотка массой один килограмм вместо предписанного ГОСТом молотка массой 0,4 – 0,5 кг. В первом случае, при недостаточном числе точечных проб, результат опробования может характеризоваться значительной случайной погрешностью. Во втором случае использование для удобства работы молотка увеличенной массы на результат опробования повлиять не может.

Для количественной оценки соответствия точки опробования требованиям ГОСТа предлагается определять относительную степень соответствия отдельной точки опробования требованиям соответствующего документа по пунктам соответствия. Пунктом соответствия является каждый отдельный параграф и подпараграф ГОСТа. В качестве примера рассмотрен ГОСТ 14180-80 «Руды и концентраты цветных металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги» [15], имеющий широкое распространение в горно-обогатительной отрасли.

Очевидно, что не все пункты соответствия являются равнозначными. Например, п. 2.1 ГОСТ 14180-80 содержит требования, выполнение которых позволяет исключить систематическую погрешность:

«...емкость пробоотсекающего устройства должна на 20 – 25 % превышать максимальный объем точечной пробы».

При этом п. 3.1 указывает на необходимость выполнения п. 3.3 – 3.7 и раздела 4 ГОСТ 14180-80, которые обязательны к исполнению без дополнительных на то указаний.

Уровень влияния на результат опробования у указанных требований различен. По этой причине предложено разделить пункты соответствия ГОСТу по их значимости. Текст ГОСТ 14180-80 содержит 46 пунктов соответствия, относящихся непосредственно к процессам отбора и подготовки проб. Все пункты соответствия целесообразно разделить на четыре группы:

- пункты значимого соответствия;
- пункты формального соответствия;
- пункты незначимого соответствия;
- пункты соответствия, не актуальные для объекта оценки.

Пункты значимого соответствия устанавливают основные требования к технологии отбора и подготовки проб. Несоблюдение требований значимого соответствия может приводить к возникновению систематической погрешности результата опробования, а также существенному увеличению случайной погрешности при условии, что несоблюдение требований происходит для одного пункта и более.

Пункты формального соответствия определяют вспомогательные требования к технологии отбора и подготовки проб, а также содержат пояснения к выполнению и оценке технологических операций. Несоблюдение требований формального соответствия может приводить к значимым систематическим погрешностям и большим случайным погрешностям только в случае несоблюдения нескольких связанных по смыслу и области применения пунктов.

Пункты незначимого соответствия содержат дополнительные пояснения к выполнению технологических операций. Несоблюдение требований незначимого соответствия само по себе не может привести к возникновению значимых систематических погрешностей и больших случайных погрешностей. Указанные погрешности могут возникать только в случае несоблюдения требований незначимого соответствия совместно с несоблюдением требований формального и значимого соответствия.

Неактуальными пункты соответствия могут становиться относительно объекта оценки (относительно точки опробования). Например, для точки опробования пульповых продуктов неактуальными являются пункты, дающие описание или пояснения по технологии отбора и подготовки проб сыпучих продуктов.

Уровень влияния пунктов соответствия разных групп на результат опробования оценивается в условных баллах в виде общего множителя, на который умножается число пунктов соответствующей группы:

- пункты значимого соответствия – 3 балла;

- пункты формального соответствия – 2 балла;
- пункты незначимого соответствия – 1 балл;
- пункты соответствия, не актуальные для объекта оценки – 0 баллов.

Отсюда степень соответствия точки опробования требованиям ГОСТ 14180-80 будет рассчитана по формуле

$$C_{14180} = \frac{3 \cdot n_{mз} + 2 \cdot n_{mф} + n_{mн}}{N}, \quad (5.9)$$

где  $n_{mз}$  – число пунктов значимого соответствия, выполняемых для точки опробования;  $n_{mф}$  – число пунктов формального соответствия, выполняемых для точки опробования;  $n_{mн}$  – число пунктов незначимого соответствия, выполняемых для точки опробования;  $N$  – общее число баллов соответствия.

Общее число баллов соответствия определяется исходя из максимального числа пунктов соответствия, которые могут быть выполнены для точки опробования:

$$N = 3 \cdot n_з + 2 \cdot n_ф + n_н, \quad (5.10)$$

где  $n_з$  – число пунктов значимого соответствия;  $n_ф$  – число пунктов формального соответствия;  $n_н$  – число пунктов незначимого соответствия.

Пункты соответствия, не актуальные для объекта оценки, в формулах (2.9) и (2.10) не учитываются по умолчанию, так как число таких пунктов подлежит умножению на ноль баллов.

В качестве примера ниже представлена оценка соответствия требованиям ГОСТ 14180-80 точки опробования исходного питания флотации в виде пульпового продукта. В таблице 5.11 приведено распределение пунктов соответствия указанного стандарта по уровню их влияния на результат опробования.

Из таблицы 5.11 следует, что для рассматриваемого случая общее число баллов соответствия составит

$$N = 3 \cdot 13 + 2 \cdot 19 + 3 = 80.$$

К расчету приняты 35 пунктов соответствия по ГОСТ 14180-80. Неактуальные для рассматриваемой точки опробования пункты соответствия ГОСТ 14180-80 (11 пунктов) к расчету не принимаются по причине их умножения на ноль баллов.

Тогда степень соответствия точки опробования ГОСТ 14180-80 при выполнении требований по всем 35 пунктам составит величину, равную единице:

$$C_{14180} = \frac{3 \cdot 13 + 2 \cdot 19 + 3}{80} = 1.$$

Таблица 5.11 – Распределение пунктов соответствия ГОСТ 14180-80 по уровню влияния на результат опробования пульпового продукта

Группа	Номера параграфов (подпараграфов) ГОСТ 14180-80	Число пунктов соответствия
Пункты значимого соответствия	1.2, 2.1, 3.1, 3.4.1, 3.4.3, 3.6.1, 3.6.2, 3.6.4, 3.7, 3.9, 3.10, 4.1, 5.3	13
Пункты формального соответствия	1.3, 1.4, 1.5, 2.3, 3.3, 3.5.1, 3.5.2, 4.1.1, 4.1.2, 5.2, 5.4, 5.6, 5.7, 5.8.1, 5.8.2, 5.8.3, 5.9, 5.10, 5.12	19
Пункты незначимого соответствия	3.1, 3.8, 5.13	3
Пункты соответствия, не актуальные для объекта оценки	1.1, 1.6, 2.2, 3.2, 3.3.2, 3.4, 4.1.3, 4.2, 5.5, 5.11, 5.14	11

Несоответствие точки опробования любому из пунктов значимого соответствия ГОСТа недопустимо. В таком случае нижний предел величины степени соответствия будет определен исходя из следующего расчета:

$$C_{14180}^{\min} = \frac{3 \cdot 12 + 2 \cdot 19 + 3}{80} = 0,9625 \approx 0,963.$$

Для соответствия рассматриваемой точки опробования требованиям ГОСТ 14180-80 степень соответствия должна составлять не менее 0,963.

Степень соответствия величиной от 0,963 до единицы может быть получена при соответствии точки опробования требованиям по всем 13 значимым пунктам при одновременном несоответствии по нескольким формальным и незначимым пунктам. В таблице 5.12 приведены возможные варианты соответствия рассматриваемой точки опробования требованиям ГОСТ 14180-80 при допустимом несоответствии по нескольким пунктам.

Таблица 5.12 – Варианты соответствия точки опробования требованиям ГОСТ 14180-80 при допустимом несоответствии по нескольким пунктам

№ п/п	Минимальное допустимое число пунктов соответствия			Степень соответствия
	значимое соответствие	формальное соответствие	незначимое соответствие	
1	13	18	2	0,963
2	13	19	0	0,963
3	13	19	1	0,975
4	13	19	2	0,988

Для подтверждения соответствия рассматриваемой точки опробования требованиям, установленным ГОСТ 14180-80, соответствие по всем 35 пунктам не является обязательным. Полное соответствие должно быть выполнено только по пунктам значимого соответствия. По пунктам двух других групп допускается частичное несоответствие. Так, например, может присутствовать несоответствие по всем трем пунктам незначимого соответствия или по одному пункту формального и одному пункту незначимого соответствия одновременно.

Условия опробования продуктов обогащения определяются особенностями технологического процесса на обогатительной фабрике, компоновочными решениями, возможностями существующего оборудования и назначением результатов опробования [5, 6, 24, 25, 29, 57, 77, 82, 84, 98, 143, 165]. По этой причине прямой подход к оценке соответствия точек опробования требованиям ГОСТа, когда решение о несоответствии может быть принято по одному незначимому пункту, нельзя считать объективным. Предложенный алгоритм оценки соответствия, учитывающий уровень влияния требований ГОСТа на результат опробования, обеспечивает объективную оценку соответствия и устанавливает его количественные границы.

## 5.6. Выводы

1. Возможности опробования различных по крупности и состоянию массивов ограничены действием как известных погрешностей, так и новых специфических погрешностей.

Установлена общая закономерность снижения известных погрешностей результата опробования путем значительного увеличения числа точечных проб по сравнению с требованиями действующих стандартов. При этом создается возможность существенного уменьшения числа частиц (кусков) в точечной пробе.

2. Сформулированы взаимосвязанные определения *теоретического предела достоверности опробования* и *высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб*. Данные определения устанавливают условия выполнения опробования с возможным снижением случайной погрешности до величины не более 0,5 % относительных, а также при устранении до незначимых величин систематической, вероятной систематической и методической погрешностей.

3. Предложена методика количественной оценки *эффективности усреднения (перемешивания) материала*. Для этого предложен расчетный коэффициент *неоднородности*, характеризующий качество перемешивания пробы перед сокращением и учитываемый при расчете дисперсии сокращения пробы. Коэффициент неоднородности представляет собой отношение дисперсий точечных проб после усреднения пробы и до усреднения пробы.

4. Высокочастотный отбор точечных проб мелких классов крупнокусковой руды обеспечивает минимальную случайную погрешность объединенной пробы. Предельным вариантом высокочастотного отбора мелких классов крупнокусковой руды является отбор в пробу готового для анализа класса

крупности (пылевых фракций). При этом реализуется покусковой отбор точечных проб. Относительная случайная погрешность покускового опробования составляет не более 0,5 %. Систематическая погрешность отбора в пробу мелкого класса крупности устраняется надежно устанавливаемой градуировочной характеристикой.

5. Использование высокочастотного отбора мелких классов крупности от крупнокусковых руд возможно как при наличии существующего правильного опробования, так и при его отсутствии, используя для градуировки информацию из товарного баланса обогатительной фабрики.

6. Конструкции пробоотборников мелких классов позволяют отбирать пробы необходимой для анализа крупности и массы без подготовки пробы, а их устройство может быть предельно простым.

7. 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.

8. 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.

## **6. Оборудование для отбора и сокращения проб высокочастотным комбинированным способом**

### **6.1. Оборудование для отбора и сокращения проб от неподвижных продуктов**

Для выполнения опробования неподвижных продуктов способом перегрузки разработано новое специальное оборудование, реализующее высокочастотный комбинированный способ отбора и сокращения проб [3, 99, 159, 223, 225, 226, 248, 249, 250, 251]. Такое оборудование получило наименование «дисковый сократитель». Конструкция и принцип действия дискового сократителя являются новыми для устройств подобного назначения.

Дисковый сократитель предназначен для получения представительных сокращенных проб сыпучих продуктов широкого диапазона крупности.

Принцип действия дискового сократителя заключается в принудительном перемешивании проходящего через рабочую зону продукта, формировании из него направленного кольцевого потока и отбора пробы в непрерывном режиме. Устройство рабочей камеры дискового сократителя показано на рисунке 6.1.

При работе сократителя исходный материал через загрузочное окно подается внутрь корпуса 1, на поверхность вращающегося усреднительного диска 2. На поверхности усреднительного диска материал перемешивается за счет воздействия на частицы центробежной силы и разбрасывается круговым веером с его поверхности к стенкам корпуса. По направляющей воронке 3 материал самотеком поступает в центральную часть разбрасывающего диска 4. Перемещаясь по поверхности разбрасывающего диска, материал дополнительно перемешивается и круговым веером отбрасывается к стенкам корпуса. Вдоль стенок корпуса материал кольцевым потоком движется вниз. При помощи расположенного под разбрасывающим диском регулируемого пробоотсекателя 5 от потока материала в непрерывном режиме отбирается проба, выводимая самотеком из корпуса по желобу пробоприемника. Основная масса материала (опробованный материал) также удаляется из корпуса самотеком. Щель пробоотсекателя ориентирована по диаметру корпуса сократителя и имеет рабочую поверхность от стенки до стенки корпуса, за счет чего от кольцевого потока материала проба отсекается в двух противоположных точках. У сократителей с повышенной степенью сокращения рабочая поверхность щели пробоотсекателя может располагаться от стенки корпуса до оси разбрасывающего диска. Это позволяет отсекать пробу в одной точке кольцевого потока.

Частицы материала, сходящие с разбрасывающего диска, на уровне верхнего створа пробоотсекателя движутся под углом относительно вертикальной оси корпуса за счет тангенциальной составляющей приданной им скорости, под углом относительно плоскости вращения диска за счет силы тяжести и по направлению от оси вращения диска – за счет центробежной силы.

Принципиальная схема пересечения потока материала пробоотсекателем показана на рисунке 6.2. За один оборот разбрасывающего диска с его поверхности сходит единичный кольцевой объем материала (рисунок 6.3). Отбор пробы от единичного кольцевого объема материала происходит в виде пересечения кольца в двух противоположных точках. Повышенную частоту пересечения потока в данном случае обеспечивает частота вращения разбрасывающего диска. Полученная схема является практической реализацией способа отбора пробы поперечным пересечением потока, выполняемого с повышенной частотой. Данный способ отбора проб минимизирует случайную погрешность и ВСП, а также устраняет систематическую составляющую погрешности опробования.

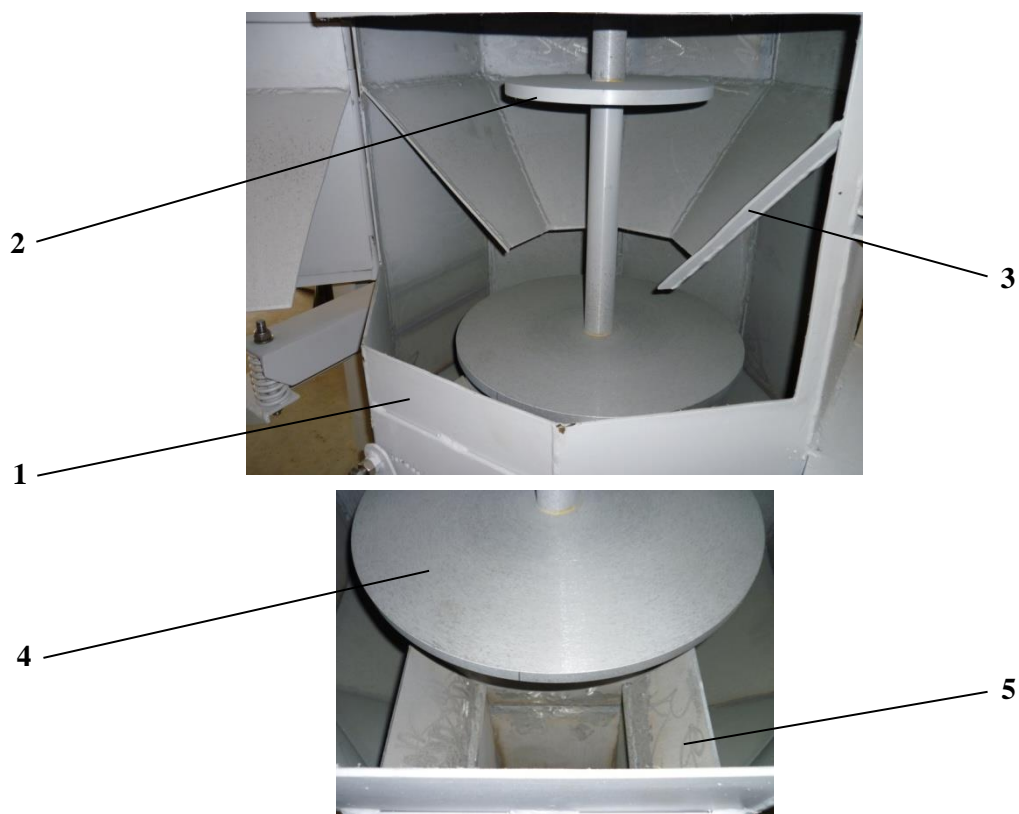


Рисунок 6.1 – Рабочая камера дискового сократителя:  
 1 – корпус; 2 – усреднительный диск; 3 – направляющая воронка;  
 4 – разбрасывающий диск; 5 – регулируемый пробоотсекатель

На практике опробование неподвижных продуктов способом перегрузки через дисковый сократитель реализуется, как правило, следующим образом:

- неподвижная масса (партия, место) опробуемого продукта, находящаяся в контейнере, вагоне или иной таре, направляется в приемный бункер перед дисковым сократителем;

- из приемного бункера продукт единым потоком направляется в дисковый сократитель, где масса опробуемого продукта (элемент потока) 1 перемешивается по мере прохождения через рабочую зону аппарата, образуя начальную пробу 2, от которой отбирается вторичная точечная проба 3, состоящая из микропорций 4 (одна микропорция за один оборот разбрасывающего диска), которые формируют сокращенную (объединенную) пробу 5;



- прошедшая через сократитель опробованная масса продукта может быть собрана в соответствующую тару или направлена в технологический процесс.

Предложенный вариант высокочастотного комбинированного способа отбора проб можно эффективно применить при опробовании давальческого исходного сырья по партиям, когда в стандартных условиях предусматривается длительное и трудоемкое перемешивание всего объема исходной партии с последующим отбором начальной пробы, либо сокращение уже отобранной от партии начальной пробы [99, 135, 146, 150, 160, 252]. Примером для первой схемы может являться приемка исходного сырья в контейнерах типа МКР для металлургического передела, для второй – приемка товарного концентрата в вагонах или думпкарах для дальнейшей переработки. Для выполнения указанной задачи с учетом различных физико-механических свойств опробуемых продуктов разработаны дисковые сократители типа «СОД-2» (сократитель однопродуктовый дисковый с двумя дисками на рабочем валу) различных типоразмеров и модификаций. Основные типоразмеры дисковых сократителей типа «СОД-2» приведены в таблице 6.1.

На базе указанного дискового сократителя типа «СОД-2» разработаны различные его модификации:

- дисковые сократители двухпробные «СОД-2-П2» и четырехпробные «СОД-2-П4» для получения двух и четырех сокращенных проб [253];
- дисковые сократители «СОД-2В» для опробования продуктов с высокой влажностью (от 7 до 16 %) [254];
- дисковые сократители «СОД-2-2» для получения сокращенных проб с повышенной степенью сокращения (более 30) [255].

Двухпробный и четырехпробный дисковые сократители отличаются от базовой модификации сократителя типа «СОД-2» устройством разгрузочной системы и пробоотсекателя, а также количеством пробоотсекателей [256].

Разгрузочная система двухпробного дискового сократителя выполнена в виде сварной конструкции, состоящей из сопряженных внутреннего и внешнего элементов – пробоприемника и разгрузочного желоба соответственно. Пробоприемник представляет собой систему из двух параллельных желобов с закрепленными на них двумя съемными пробоприемными контейнерами. Пробоотсекатель двухпробного сократителя представляет собой систему из двух независимых друг от друга подвижных стенок с регулировочными осями, при этом каждая из подвижных стенок регулирует ширину щели над одним из желобов пробоприемника разгрузочной системы. Выход каждой из сокращенных проб может регулироваться отдельно.

Разгрузочная система четырехпробного сократителя состоит из четырех независимых друг от друга пробоприемников. Каждый пробоприемник представляет собой желоб с закрепленным на нем съемным контейнером. В четырехпробном сократителе установлены четыре пробоотсекателя – по одному на каждый пробоприемник. Выход каждой из четырех сокращенных проб может регулироваться отдельно.

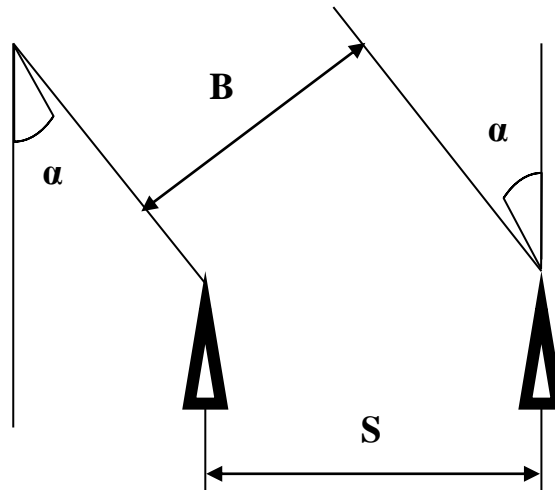


Рисунок 6.2 – Схема пересечения потока пробоотсекателем дискового сократителя:  
*S* – ширина пробоотсекателя; *B* – ширина потока материала, проходящего  
 в пробоотсекатель;  $\alpha$  – угол пересечения частицей (потоком)  
 плоскости пробоотсекателя

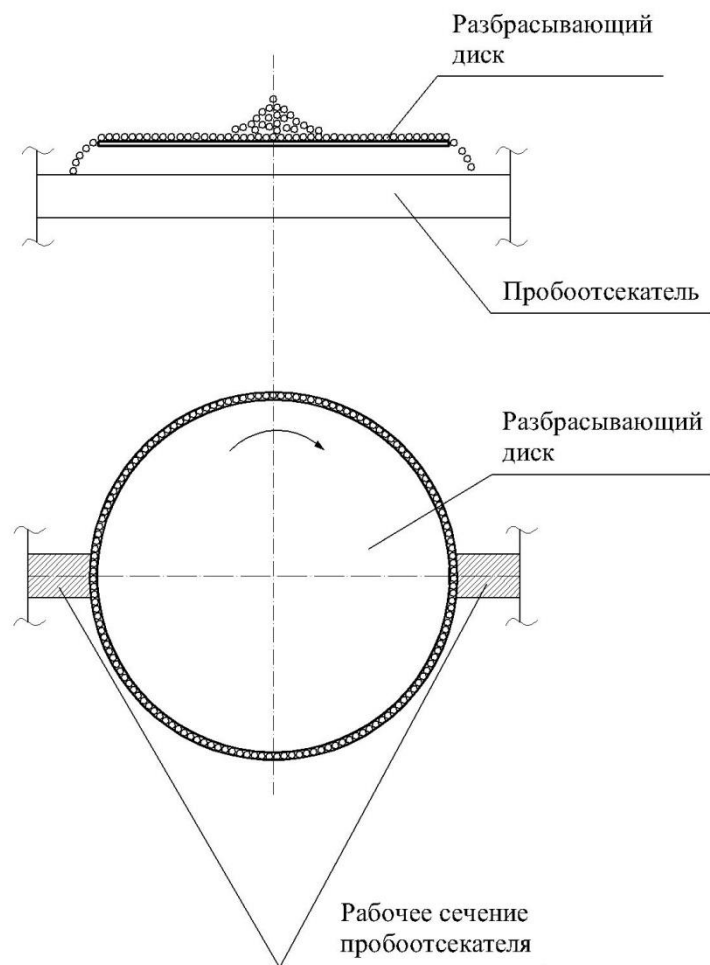


Рисунок 6.3 – Принципиальная схема движения частиц опробуемого материала  
 в рабочей камере дискового сократителя при отборе точечных проб

Таблица 6.1 – Основные технические характеристики дисковых сократителей

Наименование параметра	СОД-2-500/600	СОД-2-400	СОД-2-300	СОД-2-200	СОД-2-100
	Диаметр разбрасывающего диска, мм	500/600	400	300	200
Производительность по исходному материалу, м <sup>3</sup> /час	до 24,0	до 12,0	до 5,5	до 2,5	до 0,75
Выход пробы (в зависимости от крупности материала), %	1 – 20	2 – 20	2 – 20	3 – 20	4 – 20
Крупность опробуемого материала (не более), мм	100	80	30	16	9
Влажность опробуемого материала, %	до 7,0				
Мощность электродвигателя привода основного, кВт	3,0	1,5 (2,2)	0,55 (1,1)	0,55	0,37
Мощность электродвигателя привода вибрационного, кВт	0,55		0,25		
Характеристика тока	переменный, трехфазный (однофазный)				
Напряжение, В	380				380 (220)
Габаритные размеры минимальные, мм:					
- длина	800	750	550	450	400
- ширина	800	700	500	400	350
- высота	1 600	1 500	1 250	1 000	850
Масса в сборе (не более), кг	700	500	250	140	60

В ходе промышленной эксплуатации дисковых сократителей установлено, что при работе с материалами влажностью более 7 % происходит налипание сокращаемого материала на внутренние поверхности, в основном на стенки усреднительной и сократительной камер. Поэтому для сокращения материалов с повышенной влажностью предложено техническое решение, позволяющее избежать налипания. Оно заключается в оснащении дискового сократителя системой виброактивации, передающей колебания на корпус и разгрузочную систему. В этом случае дисковый сократитель дополнительно оборудуется вибрационным приводом и подвижными опорами.

Вибрационный привод предназначен для сообщения корпусу сократителя и разгрузочной системе вибрации с целью улучшения транспортировки сокращаемого материала по внутренним поверхностям. Привод вибрационный представляет собой электромеханический мотор-вибратор с круговыми колебаниями. Установлен вибрационный привод на задней стенке корпуса сократителя.

Подвижная опора предназначена для установки корпуса сократителя в установочной раме, а также регулирования амплитуды колебательных движений корпуса. Подвижные опоры в количестве от четырех до восьми штук (в зависимости от конструкции дискового сократителя) установлены по периметру корпуса сократителя в опорных кронштейнах и опираются на кронштейны установочной рамы. При этом привод и усреднительный агрегат сократителя не имеют жесткой связи с корпусом, что дает возможность обеспечить корпусу и разгрузочной системе свободные колебания. По результатам промышленных испытаний, система виброактивации позволяет проводить сокращение продуктов с влажностью до 16 %. Устройство дискового сократителя с системой виброактивации показано на рисунке 6.4.



Рисунок 6.4 – Дисковый сократитель СОД-2-300В

Для формирования пробы со степенью сокращения более 30 используется дисковый сократитель модификации «СОД-2-2» с двумя сократительными камерами – верхней и нижней. В верхней сократительной камере под разбрасывающим диском установлен неподвижный пробоотсекатель с

постоянной шириной щели, при помощи которого от потока опробуемого продукта отсекается начальная проба, направляемая в нижнюю сократительную камеру, снабженную регулируемым пробоотсекателем.

Возможно комбинирование нескольких модификаций дисковых сократителей. Так, например, четырехпробный дисковый сократитель с диаметром разбрасывающего диска 200 мм для получения проб от продуктов с высокой влажностью с повышенной степенью сокращения имеет обозначение СОД-2-200В-2П4.

При выполнении опробования исходных неподвижных продуктов способом перегрузки дисковый сократитель фактически выполняет функцию пробоотбирателя, через рабочую зону которого проходит весь объем опробуемого продукта.

## **6.2. Оборудование для отбора и сокращения проб от движущихся продуктов**

При переработке различных видов минерального сырья наибольшее распространение получили мокрые методы обогащения, поэтому на обогатительных фабриках опробованию в большинстве случаев подвергаются потоки пульпы [1, 2, 64, 69, 93, 95, 100, 109, 153, 257, 258, 259, 260].

Для выполнения отбора и сокращения проб от потока пульпы в транспортирующей магистрали высокочастотным комбинированным способом предложено специальное оборудование – пробоотборник щелевой поточный для пульпы типа «ПЩП» (пробоотборник щелевой поточный) и модуль пробосократительный типа «МП» (модуль пробосократительный) [207, 214, 237, 249, 261, 262].

Пробоотборники типа «ПЩП» и модули типа «МП» почти всегда используются совместно в виде аппаратной линии, предназначенной для отбора начальной пробы от потока опробуемого продукта и ее последующего сокращения. Такая линия по причине ее однотипности и компактного расположения на объектах обогатительных фабрик получила наименование «станция опробования пульпы».

Разработаны и применяются на практике два типа станций опробования пульпы:

- станция типа «СОП-1П» в составе одного пробоотборника типа «ПЩП» и одного модуля типа «МП», предназначенная для отбора и сокращения проб от одного потока [263];

- станция типа «СОП-2П» в составе двух пробоотборников типа «ПЩП» и одного модуля типа «МП», предназначенная для отбора и сокращения проб от двух потоков одного опробуемого продукта (например, отвальные хвосты двух параллельных секций обогатительной фабрики) [264].

Способ минимизирует случайную погрешность и ВСП результата опробования.

Станция опробования пульпы типа «СОП-1П» предназначена для представительного опробования потоков пульпы в трубопроводах круглого сечения. Станция опробования пульпы состоит из щелевого пробоотборника типа «ПЩП», пробосократительного модуля типа «МП», запорно-распределительного устройства и пульта оператора «ПО-2П».

Щелевой пробоотборник типа «ПЩП» предназначен для представительного отбора проб от потока пульпы в транспортной магистрали. Принципиальное устройство и внешний вид щелевого пробоотборника показаны на рисунке 6.5.

Принцип действия щелевого пробоотборника заключается в усреднении потока пульпы и выделении из него пробы методом непрерывного полного продольного пересечения. Усреднение достигается за счет движения опробуемого потока последовательно через сужающую и расширяющую камеры щелевого пробоотборника, в результате чего происходит кратковременное увеличение скорости потока и перепад давления, что приводит к ликвидации неоднородности потока пульпы в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Отбор пробы выполняется щелевым отсекателем, установленным по оси потока в вертикальной плоскости. Отсекатель в продольном и поперечном сечении имеет форму трапеции, что обеспечивает свободное отведение отобранной пробы без возникновения гидравлических подпоров и выброса части пробы из отсекателя. Перечисленные технические решения обеспечивают представительный отбор пробы от потока с учетом колебаний массовой доли контролируемого компонента, гранулометрического состава, плотности пульпы и производительности опробуемого потока. Применением непрерывного пересечения потока решается важная задача повышения представительности опробования за счет снижения величины случайной погрешности и устранения ВСП.

Щелевой пробоотборник может быть установлен в трубопровод, расположенный под любым углом относительно горизонтали. Для очистки пробоотборника в нештатных ситуациях предусмотрены патрубки с пробками, через которые внутрь пробоотборника может быть подведена промывная вода или произведена механическая шуровка. Конструкция пробоотборника предусматривает возможность замены щелевого отсекателя. Крепление пробоотборника к трубопроводу производится через фланцевые пары с уплотнением.

Щелевой пробоотборник имеет две модификации по вариантам компоновки:

1. Щелевой пробоотборник типа «ПЩП» модификации «К» для отбора пробы от потока в магистрали круглого сечения.
2. Щелевой пробоотборник типа «ПЩП» модификации «Ф» для отбора пробы от потока в магистрали прямоугольного сечения.

В обозначении типоразмера щелевого пробоотборника обозначение размера магистрали круглого сечения, по которой транспортируется опробуемый поток, указывается в соответствии с сортаментом на стандартные стальные горячекатаные трубы, применяемые на обогатительных фабриках: «89», «108»,

«133», ...«1420» – наружный диаметр трубопровода круглого сечения в миллиметрах по ГОСТ 8731, 8732, 8696 и 10706 [265, 266, 267, 268].

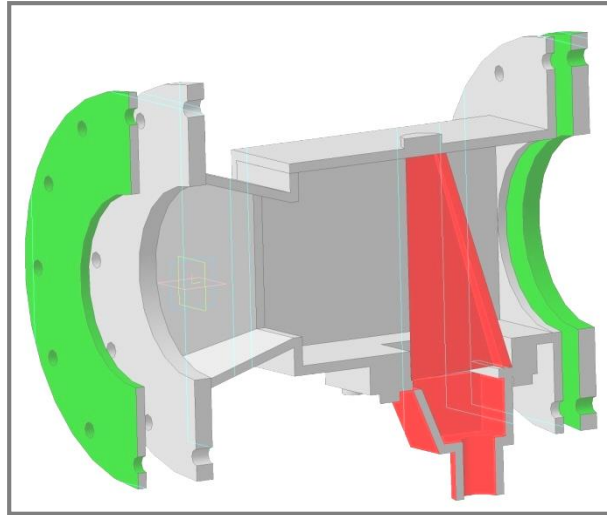


Рисунок 6.5 – Щелевой пробоотборник типа «ПЩП» станции опробования пульпы типа «СОП-1П» (разрез по продольной оси)

При установке щелевого пробоотборника на трубопровод из полиэтилена или резины указывается соответствующий диаметр трубопровода с наименованием товарной марки трубопровода или материала, из которого трубопровод изготовлен, например, «Sigma100», «ПЭ100» [3].

Для щелевого пробоотборника модификации «Ф» в обозначении типоразмера указывается ширина и высота проходного сечения магистрали в миллиметрах, например, «700/500», «800/400».

Объем опробуемого потока (производительность потока) в обозначении типоразмера указывается при помощи индекса производительности потока: «01», «02», «04», «06», «08» и т. д. – производительность опробуемого потока пульпы в сотнях метров кубических в час. Все значения индекса производительности потока, начиная с индекса «02» являются четными. Указанный индекс назначается исходя из соответствия значения истинной производительности потока ближайшей большей величине индекса. Например, производительности опробуемого потока пульпы 1 050 м<sup>3</sup>/ч соответствует индекс «12».

Пример условного обозначения щелевого пробоотборника для трубопровода круглого сечения из стальной трубы диаметром 273 мм, по которому транспортируется поток пульпы, подлежащий опробованию, производительностью 320 м<sup>3</sup>/ч: ПЩП-273-04К. Пример условного обозначения пробоотборника для желоба (магистрали прямоугольного сечения) шириной 600 мм и высотой 500 мм, по которому транспортируется поток пульпы, подлежащий опробованию, производительностью 950 м<sup>3</sup>/ч: ПЩП-600/500-10Ф.

Пробосократительный модуль типа «МП» предназначен для представительного сокращения потока первичной пробы от щелевого пробоотборника и формирования накопленной пробы необходимого объема.

Также он может быть использован как независимое оборудование для отбора и сокращения проб от потока пульпы. Существуют три основные модификации пробосократительного модуля типа «МП»: МП-04Р, МП-03Р и МП-02РС. Такой модуль состоит из корпуса, сократительной камеры, регулируемого пробоотсекателя и привода. В сократительной камере модулей первых двух модификаций расположены секторный пробоотбиратель и пульпосократитель типа «СОД-2».

Секторный пробоотбиратель предназначен для отбора точечных проб от потока. Отбор точечных проб от потока выполняется при помощи вращающегося секторного отсекавателя. Отбор точечных проб выполняется с частотой от 6 до 28 отборов в минуту (в зависимости от модификации модуля). Повышенная частота отбора точечных проб обеспечивает высокую представительность формирования сокращенных проб в условиях непрерывных колебаний массовой доли контролируемых компонентов и производительности потока по пульпе.

Пульпосократитель типа «СОД-2» предназначен для сокращения точечных проб, отобранных секторным пробоотборником. Рабочий агрегат пульпосократителя приводится во вращение за счет передачи момента от основного вала привода. Конструкция пульпосократителя обеспечивает возможность регулирования выхода сокращенной пробы в широком диапазоне.

Пробосократительный модуль модификации МП-03Р отличается от аппарата модификации МП-04Р увеличенной до шести раз шириной щели секторного отсекавателя. Модификация модуля МП-02РС представляет собой отдельный секторный пробоотбиратель без пульпосократителя, как у двух предыдущих модификаций. Количество секторных отсекавателей модуля такой модификации увеличено с одного до четырех. Регулирование выхода сокращенной пробы в данном случае выполняется путем перекрывания двух противоположных или трех отсекавателей. Это обеспечивает уменьшение выхода сокращенной пробы в два и четыре раза соответственно. Перекрывать только один отсекаватель пробосократительного модуля модификации МП-02РС не рекомендуется – это может привести к систематической погрешности результата опробования за счет «сгущения» точечных проб [6, 223]. Выход же сокращенной пробы в этом случае уменьшится только на одну четверть. В таблице 6.2 приведены технические характеристики пробосократительного модуля МП-02РС.

Привод пробосократительного модуля комплектуется мотор-редуктором и клиноременной передачей специального исполнения, устойчивыми к воздействию влаги и контакту с пульпой. Корпус пробосократительного модуля снабжен смотровыми и монтажными люками для текущего обслуживания и ремонта. Для повышения эксплуатационной надежности и облегчения очистки узлы и детали пробосократительного модуля изготавливаются из коррозионно-стойкой стали марки 12Х18Н10Т.

Запорно-распределительное устройство предназначено для соединения сливного патрубка щелевого пробоотборника с подводным патрубком пробосократительного модуля, а также для регулирования производительности потока первичной пробы со щелевого пробоотборника (до полного перекрытия потока). Запорно-распределительное устройство представляет собой гибкий



прозрачный армированный спиралью рукав с присоединительной арматурой и шаровым вентилем.

Таблица 6.2 – Основные технические характеристики модуля пробосократительного МП-02РС

Наименование параметра	Значение
Крупность твердой фазы пульпы (максимальная), мм	1
Плотность пульпы, %	не более 50
Производительность по исходному опробуемому потоку, м <sup>3</sup> /ч	до 12
Мощность двигателя привода (не более), кВт	0,18
Масса в сборе (не более), кг	90
Количество операций сокращения потока	1
Диапазон регулирования выхода пробы, %	2,5 – 10,0
Количество отбираемых точечных проб в минуту	28; 56; 112
Скорость пересечения потока секторным отсекателем (линейная), м/с	0,35
Габаритные размеры с установочной рамой (не более), мм:	
Длина	750
Ширина	650
Высота	760

Пульт оператора «ПО-2П» предназначен для подключения электродвигателя привода пробосократительного модуля к электрической сети, включения (выключения) указанного привода и защиты электродвигателя от перегрева и перепадов напряжения.

При установке станции опробования пульпы типа «СОП-1П» на объекте щелевой пробоотборник монтируется в трубопровод пульпы, пробосократительный модуль устанавливается в непосредственной близости от пробоотборника с учетом обеспечения беспрепятственной самотечной транспортировки отобранных проб и возвратного продукта модуля. В результате работы станции опробования будет обеспечен равнопредставительный отбор и сокращение проб потока пульпы, а также формирование накопленной пробы требуемого объема. Принципиальная технологическая схема станции опробования пульпы типа «СОП-1П» показана на рисунке 6.6, пробосократительного модуля типа «МП» при его использовании в качестве независимой единицы оборудования – на рисунке 6.7.

Станция опробования пульпы типа «СОП-2П» состоит из двух щелевых пробоотборников типа «ПЩП», пробосократительного модуля типа «МП», запорно-распределительного устройства и пульта оператора «ПО-2П».

Принципиальная технологическая схема станции опробования пульпы типа «СОП-2П» показана на рисунке 6.8.

Основные технические характеристики станций опробования пульпы приведены в таблице 6.3.

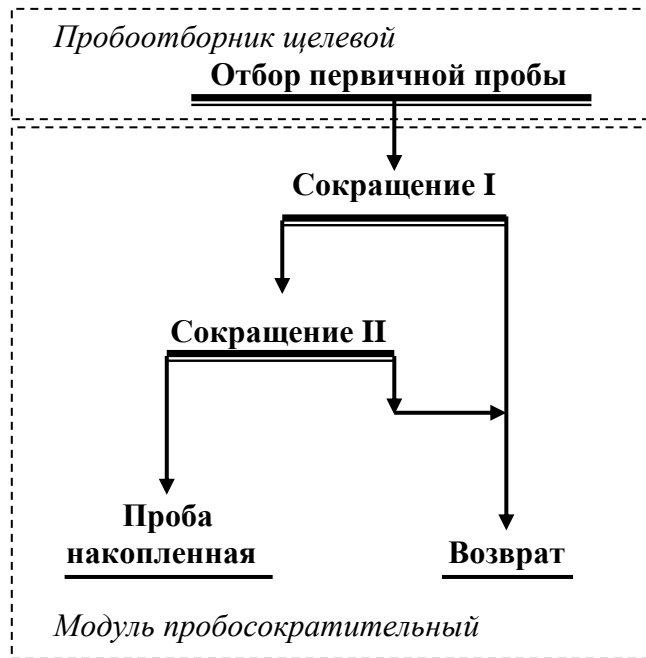


Рисунок 6.6 – Технологическая схема станции опробования типа «СОП-1П»

Для сыпучих (кусковых) продуктов разработаны станции опробования, составляющие комплект оборудования для реализации комбинированного способа отбора и сокращения проб. Такая станция опробования состоит из пробоотборника и сократителя. Первичный пробоотборник предназначен для отбора точечных проб от потока с повышенной частотой, объединенный с пробоотборником сократитель, в который направляются точечные пробы, предназначен для формирования накопленной пробы за контрольный период. Указанное оборудование используется преимущественно для сыпучих продуктов, перемещаемых конвейерами, для которых невозможно выполнить перемешивание потока в точке отбора точечной пробы [63, 76, 106, 153, 237, 239, 270].

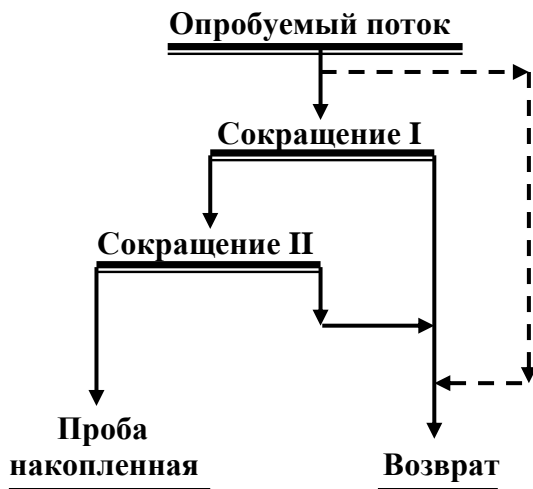


Рисунок 6.7 – Технологическая схема пробосократительного модуля типа «МП»

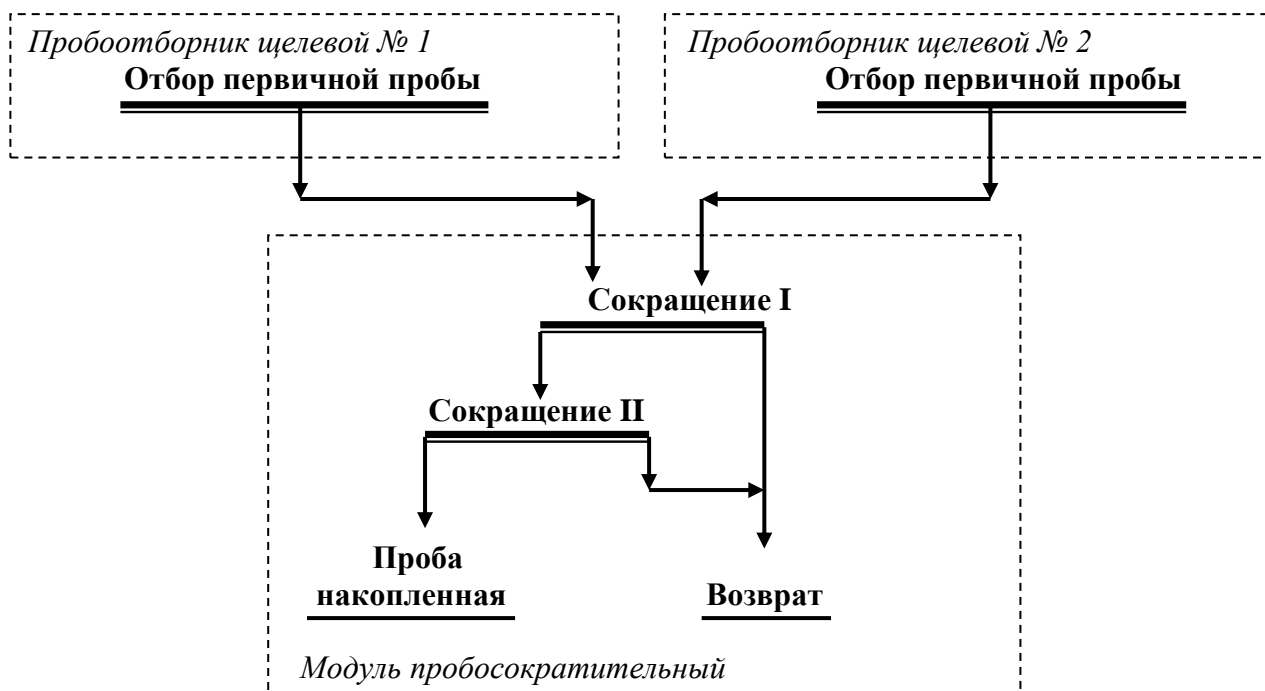


Рисунок 6.8 – Технологическая схема станции опробования типа «СОП-2П»

Примером может служить конвейерная станция опробования с непрерывным режимом работы типа «СО-КН» [237, 269]. Такая станция состоит из секторного пробоотборника типа «ПСК», дискового сократителя типа «СОД-2» или «СОД-2-2» и пульта оператора «ПО-3П». Место установки станции опробования типа «СО-КН» – узел перегрузки с одного ленточного конвейера на другой ленточный конвейер или узел загрузки с ленточного конвейера в емкость или технологическое оборудование. Технологическая схема конвейерной станции опробования приведена на рисунке 6.9.

В результате работы конвейерной станции опробования выполняется равнопредставительный отбор и сокращение проб сыпучего продукта, а также формирование представительной накопленной пробы требуемого объема (имеется возможность регулирования объема накопленной пробы).

Отбор большого числа точечных проб от потока сыпучего материала (до 110 точечных проб в час) позволяет обеспечить высокую представительность формирования накопленной пробы в условиях непрерывных колебаний массовой доли контролируемого компонента, производительности и гранулометрического состава.

Секторный пробоотборник предназначен для представительного отбора точечных проб от потока сыпучего материала при сходе с ленты конвейера. Пробоотборник состоит из корпуса, вращающегося секторного отсекающего сквозного типа, электромеханического привода и установочной рамы. Отбор точечных проб от потока сыпучего материала производится секторным отсекающим способом полного поперечного пересечения. Частота отбора точечных проб устанавливается исходя из расчета параметров точки опробования. Секторный пробоотборник работает в непрерывном режиме, без остановок и отключения привода.

Привод секторного пробоотборника комплектуется мотор-редуктором и клиноременной передачей (или соединительной муфтой), что обеспечивает постоянную скорость пересечения опробуемого потока и, как следствие этого, равнопредставительный отбор точечных проб. Конструкция пробоотборника предусматривает возможность его обслуживания и ремонта без демонтажа. Для повышения эксплуатационной надежности узлы и детали пробоотборника, находящиеся в контакте с опробуемым материалом, снабжаются футеровкой. Внешний вид секторного пробоотборника типа «ПСК» показан на рисунке 6.10.

В качестве примера на рисунке 6.11 показаны принципиальная компоновка и габаритные размеры станции опробования «СО-1000КН». В таблице 6.4 приведены основные технические характеристики указанной станции.

Таблица 6.3 – Основные технические характеристики станции опробования типа «СОП-1П»

Характеристики	Величина параметра									
	«СОП-1-89»	«СОП-1-133»	«СОП-1-168»	«СОП-1-219»	«СОП-1-273»	«СОП-1-325»	«СОП-1-377»	«СОП-1-426»	«СОП-1-530»	«СОП-1-820»
Диаметр трубопровода, мм	89	133	168	219	273	325	377	426	530	820
Производительность опробуемого потока пульпы максимальная, м <sup>3</sup> /ч	65	130	250	500	750	1 250	1 750	2 500	3 000	5 000
Выход пробы (регулируемый), %	(0,5 – 5,0)х10 <sup>-4</sup>									
Крупность частиц твердой фазы пульпы (максимальная), мм	10,0									
Отношение Т/Ж в исходном питании (максимальное)	1/1									

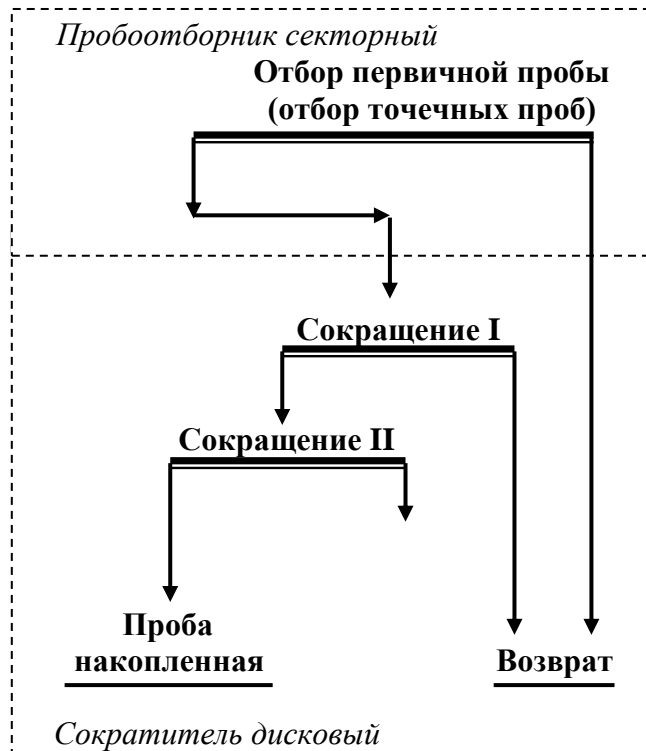


Рисунок 6.9 – Принципиальная технологическая схема конвейерной станции опробования типа «СО-КН»



Рисунок 6.10 – Секторный пробоотборник ПСК-800Н

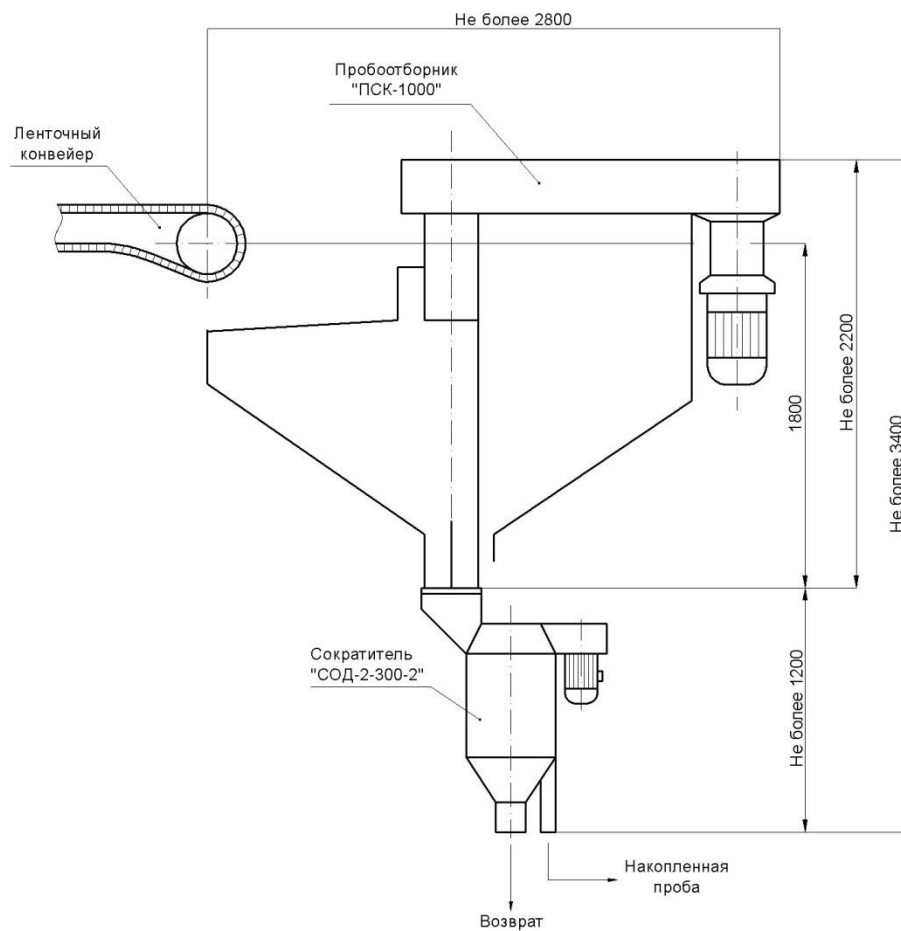


Рисунок 6.11 – Компоновка и габаритные размеры оборудования конвейерной станции опробования СО-1000КН

Таблица 6.4 – Основные технические характеристики конвейерной станции опробования СО-1000КН

Наименование параметра	Единицы измерения	Значение
<b>Технологические характеристики:</b>		
Количество операций отбора (сокращения) пробы		3
Производительность опробуемого потока (перемещаемого по конвейеру)	т/ч	не более 400
Количество отбираемых точечных проб в час		110
Ширина ленты конвейера	мм	1000
Диапазон регулирования выхода накопленной пробы	%	$(0,4 - 1,6) \times 10^{-3}$
Отклонение массы последовательных сокращенных проб (за час)	%	не более 20
Крупность опробуемого материала	мм	не более 30,0
Влажность опробуемого материала	%	не более 6,0
<b>Технические характеристики:</b>		
Суммарная мощность приводной части (не более)	кВт	3,2
Напряжение	В	380
Частота	Гц	50
Масса оборудования в сборе	кг	не более 1 800

### 6.3. Расчет оборудования для отбора и сокращения проб

Для обеспечения правильной работы оборудования для отбора и сокращения проб высокочастотным комбинированным способом необходимо выполнить расчет параметров работы данного оборудования, а также определить габаритные размеры рабочих элементов оборудования и скорость их перемещения [3, 70, 159, 223, 224, 237, 249, 259, 262]. Такие расчеты могут выполняться в следующих случаях:

- при конструировании нового оборудования;
- при разработке новых типоразмеров оборудования;
- в случае определения применимости имеющегося оборудования для отбора и сокращения проб новых продуктов.

Примером таких расчетов может послужить технологический расчет дискового сократителя типа «СОД-2». Теоретические положения, на основании которых выполняется указанный расчет, приведены ниже.

В условиях изменения качественных показателей сырьевой базы предприятий и неуклонного увеличения перечня исходного сырья часто возникает вопрос о возможности использования дискового сократителя для работы с пробами новых материалов, отличающихся по свойствам от тех, для которых была составлена режимная карта сократителя. Характерными свойствами сокращаемых материалов являются, как правило, крупность и массовая доля ценного компонента, а также неравномерность распределения его массовой доли по объему сокращаемой пробы. Указанные свойства приходится учитывать не только в процессе эксплуатации дисковых сократителей, но и при их разработке. Поэтому при конструировании дисковых сократителей выполнение технологического расчета сократителя является обязательным. Технологический расчет дискового сократителя включает в себя следующие этапы:

1. Расчет пределов изменения основных показателей сокращения.
2. Расчет случайных погрешностей для основных показателей сокращения.
3. Определение типоразмера дискового сократителя.
4. Расчет номинальных параметров работы дискового сократителя.

С целью получения представительных сокращенных проб различных по указанным свойствам продуктов на дисковом сократителе необходимо найти допустимые пределы изменения показателей сокращения, а также установить связь между величиной показателей сокращения и свойствами сокращаемого материала. Процесс сокращения, согласно теоретическим положениям и требованиям стандартов, характеризуют следующие показатели [3]:

- допустимая случайная погрешность сокращения пробы;
- масса исходного материала (пробы), подлежащего сокращению (масса пробы или партии);
- масса сокращенной пробы (выход сокращенной пробы).

Для учета перечисленных показателей предложены закономерности, устанавливающие пределы изменения массы продуктов сокращения в



зависимости от радиуса разбрасывающего диска сократителя и крупности сокращаемого материала при заданной случайной погрешности сокращения:

- минимальная масса исходной пробы для дискового сократителя;
- минимальная масса (выход) сокращенной пробы для дискового сократителя.

Допустимая относительная случайная погрешность сокращения пробы  $P_{\text{сокр}}$  может быть задана изначально на основании степени неоднородности сокращаемого материала и величины массовой доли ценного компонента в этом материале. В таком случае неоднородность материала исходной пробы предлагается оценивать через дисперсию точечных проб  $S_T^2$ . В соответствии с дисперсией точечных проб представляется возможным определить достаточную минимальную массу исходной пробы, которая может быть сокращена при помощи дискового сократителя с заданной допустимой относительной погрешностью  $P_{\text{сокр}}$ . [3]. На основании существующих зависимостей *минимальная масса исходной пробы для дискового сократителя* может быть найдена по следующей формуле:

$$q_{\min} = \frac{\pi(R+\bar{d}) \cdot (\bar{d})^2 \cdot \rho_M \cdot (\alpha_{\max} - \alpha_{\min})^2}{48 \left( \frac{P_{\text{сокр}} \cdot a}{200} \right)^2}, \quad (6.1)$$

где  $R$  – радиус разбрасывающего диска сократителя, м;  $\bar{d}$  – средний размер частицы сокращаемой пробы, м ( $\bar{d} = d_{\max}/2$ );  $\rho_M$  – плотность минерала ценного компонента, кг/м<sup>3</sup>;  $\alpha_{\max}$  – максимальное значение массовой доли ценного компонента в пробе, %;  $\alpha_{\min}$  – минимальное значение массовой доли ценного компонента в пробе, %;  $a$  – массовая доля ценного компонента в пробе, %;  $P_{\text{сокр}}$  – относительная погрешность сокращения пробы (заданная), %.

С использованием формулы (6.1) могут быть найдены закономерности изменения величины минимальной массы исходной пробы в зависимости от степени неоднородности материала и величины массовой доли ценного компонента при заданной относительной погрешности сокращения  $P_{\text{сокр}}$ .

Установлено, что при постоянной величине массовой доли ценного компонента  $a$  увеличение неоднородности сокращаемого материала  $\Delta a$  приводит к возрастанию минимальной массы исходной пробы, необходимой для обеспечения заданной относительной погрешности сокращения  $P_{\text{сокр}}$ .

При снижении неоднородности сокращаемого материала минимальная масса исходной пробы может быть уменьшена. В этом случае при увеличении массовой доли ценного компонента в сокращаемом материале изменение его неоднородности в сторону увеличения приведет к необходимости использовать исходную пробу большей массы, нежели при уменьшении неоднородности. При увеличении заданной относительной погрешности сокращения  $P_{\text{сокр}}$  значение минимальной массы пропорционально снижается при неизменных величинах  $a$  и  $S_T^2$ .

*Минимальный выход (масса) сокращенной пробы* должен быть определен с учетом величины минимальной массы исходной пробы  $q_{\min}$  и заданной случайной погрешности сокращения  $P_{\text{сокр}}$ . Учитывая, что кускам материала необходимо

проходить в пробоотсекатель без затруднений, величина проходного сечения пробоотсекателя должна составлять не менее трех размеров максимального куска сокращаемого материала  $3d_{\max}$ . Тогда *минимальный выход сокращенной пробы* находится по следующей формуле:

$$\gamma_{\text{сокр. min}} \geq \frac{3d_{\max}}{2\pi(R+d)} \cdot 100, \% \quad (6.2)$$

При этом следует отметить, что по полученной формуле определяется именно минимальный выход сокращенной пробы. Величина выхода сокращенной пробы может отличаться от расчетного значения только в большую сторону (пропорционально увеличению проходного сечения пробоотсекателя). Погрешность сокращения пробы зависит от массы исходной пробы до сокращения и от массы сокращенной пробы [3, 6].

Тогда *минимальный выход сокращенной пробы* может быть найден следующим образом:

$$\gamma_{\text{сокр. min}} \geq \frac{100}{\left[ \frac{S_{\text{сокр}}^2 \cdot q_{\text{исх}}}{2 \cdot f \cdot S_k^2 \cdot \rho \cdot d^3} + 1 \right]}, \% \quad (6.3)$$

где  $S_{\text{сокр}}^2$  – дисперсия сокращения пробы, %<sup>2</sup>;  $q_{\text{исх}}$  – масса исходной пробы, кг;  $f$  – коэффициент формы;  $S_k^2$  – покусковая дисперсия пробы, %<sup>2</sup>;  $\rho_m$  – плотность пробы, кг/м<sup>3</sup>.

Найденное по формуле (6.3) значение минимального выхода сокращенной пробы может изменяться только в сторону увеличения. В случае уменьшения выхода сокращенной пробы относительно рассчитанного по формуле условия сокращения пробы будут некорректными – погрешность сокращения пробы будет превышать заданную изначально. В случае, когда выход сокращенной пробы, определенный с учетом сечения пробоотсекателя по формуле (6.2), превышает выход сокращенной пробы, определенный с учетом массы исходной пробы и заданной относительной случайной погрешности по формуле (6.3), необходимо принимать за рабочее значение выход, найденный с учетом сечения пробоотсекателя. Сечение пробоотсекателя не может быть менее  $3d_{\max}$ . В противном случае за рабочее значение выхода сокращенной пробы необходимо принимать величину, рассчитанную по формуле (6.3), иначе погрешность сокращения пробы будет превышать заданную изначально.

В формулах отражено влияние крупности исходной пробы на выход сокращенной пробы: с уменьшением крупности исходной пробы выход сокращенной пробы снижается. Необходимый выход сокращенной пробы уменьшается в случае возрастания массовой доли ценного компонента  $\alpha$  при неизменном значении заданной относительной погрешности сокращения  $P_{\text{сокр}}$ . При этом должна сохраняться функциональная зависимость между дисперсией сокращения  $S_{\text{сокр}}^2$  и относительной погрешностью сокращения  $P_{\text{сокр}}$ , в результате чего величина  $S_{\text{сокр}}^2$  изменяется пропорционально увеличению массовой доли  $\alpha$  за счет изменения неоднородности сокращаемого материала. В случае возрастания

значения массовой доли  $\alpha$  при неизменной величине неоднородности относительная погрешность  $P_{\text{сокр}}$  неизбежно будет уменьшаться. В связи с этим необходимый выход сокращенной пробы будет увеличиваться. Как следствие из вышесказанного, снижение необходимого выхода сокращенной пробы влечет за собой увеличение случайной погрешности сокращения. В соответствии с предложенной зависимостью выхода сокращенной пробы от массы исходной пробы при заданной случайной погрешности сокращения найдены расчетные закономерности, показанные на рисунках 6.12 и 6.13. Анализ закономерностей показывает, что с уменьшением крупности сокращаемой пробы происходит существенное снижение минимального допустимого выхода сокращенной пробы, а с увеличением массы исходной пробы минимальный допустимый выход сокращенной пробы также уменьшается (для материала одной крупности). Так, для массы исходной пробы 144 кг при уменьшении максимальной крупности пробы с минус 13 до минус 5 мм и заданной относительной случайной погрешности сокращения 15 % минимальный выход сокращенной пробы изменился с 15,15 до 1,03 %. Для пробы крупностью минус 5 мм, например, при увеличении массы исходной пробы с 20,75 до 900 кг, минимально возможный выход сокращенной пробы снижается с 38,76 до 1,44 %.

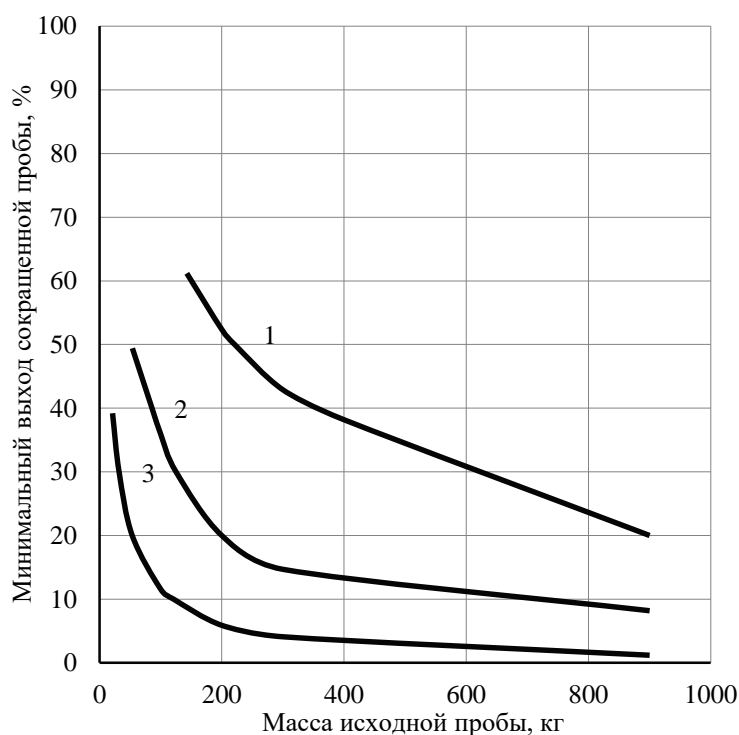


Рисунок 6.12 – Зависимость минимального выхода сокращенной пробы от массы исходной пробы при допустимой относительной случайной погрешности сокращения 5 %:

*1 – проба крупностью минус 13 мм; 2 – проба крупностью минус 8 мм;  
3 – проба крупностью минус 5 мм*

Существенное снижение минимального выхода сокращенной пробы происходит при увеличении заданной случайной погрешности сокращения. Для массы исходной пробы крупностью минус 5 мм, составляющей 20,75 кг,

увеличение заданной относительной погрешности сокращения с 5 до 15 % снижает минимально возможный выход пробы с 38,76 до 6,74 %.

На рисунке 6.14 показана взаимная связь выхода сокращенной пробы, найденного исходя из заданной случайной погрешности сокращения по формуле (6.3), с величиной допустимой ширины сечения пробоотсекателя и радиуса разбрасывающего диска дискового сократителя по формуле (6.2). Показано, что для исходной пробы заданной крупности существует предел увеличения массы исходной пробы, обусловленный минимально возможным выходом сокращенной пробы для существующего радиуса разбрасывающего диска  $R$ .

Превышение указанного предела при условии сохранения допустимой случайной погрешности сокращения не позволит уменьшить выход сокращенной пробы. Уменьшение же выхода сокращенной пробы в данных условиях можно достичь только за счет увеличения радиуса разбрасывающего диска, что позволит снизить минимальный выход. На практике данное ограничение устанавливает минимальный выход сокращенной пробы дискового сократителя, а также показывает необходимость расширения типоразмерного ряда сократителей.

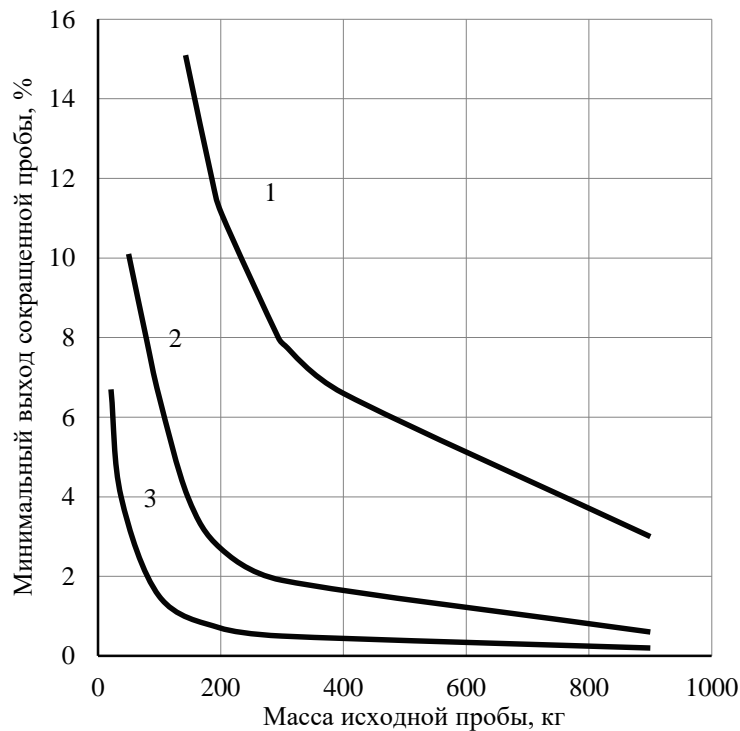


Рисунок 6.13 – Зависимость минимального выхода сокращенной пробы от массы исходной пробы при допустимой относительной случайной погрешности сокращения 15 %:

1 – проба крупностью минус 13 мм; 2 – проба крупностью минус 8 мм;

3 – проба крупностью минус 5 мм

Основным параметром, определяющим типоразмер дискового сократителя, принят радиус разбрасывающего диска  $R$ .

Величина радиуса разбрасывающего диска является функцией от максимальной крупности куска сокращаемого материала  $d_{\max}$ :

$$R = 8,5 \cdot d_{\max}, \text{ м.} \quad (6.4)$$

Геометрические параметры потока материала взяты исходя из габаритов рабочей зоны дискового сократителя, схематично изображенной на рисунке 6.15.

Согласно рисунку 6.15, объем материала при выходе из подводящей воронки дискового сократителя  $V_B$  может быть определен по следующей зависимости:

$$V_B = 3d_{\max} \cdot \left( \frac{\pi \cdot 25(d_{\max})^2}{4} - \frac{\pi \cdot (d_{\max})^2}{4} \right) = 18 \cdot \pi (d_{\max})^3, \text{ м}^3. \quad (6.5)$$

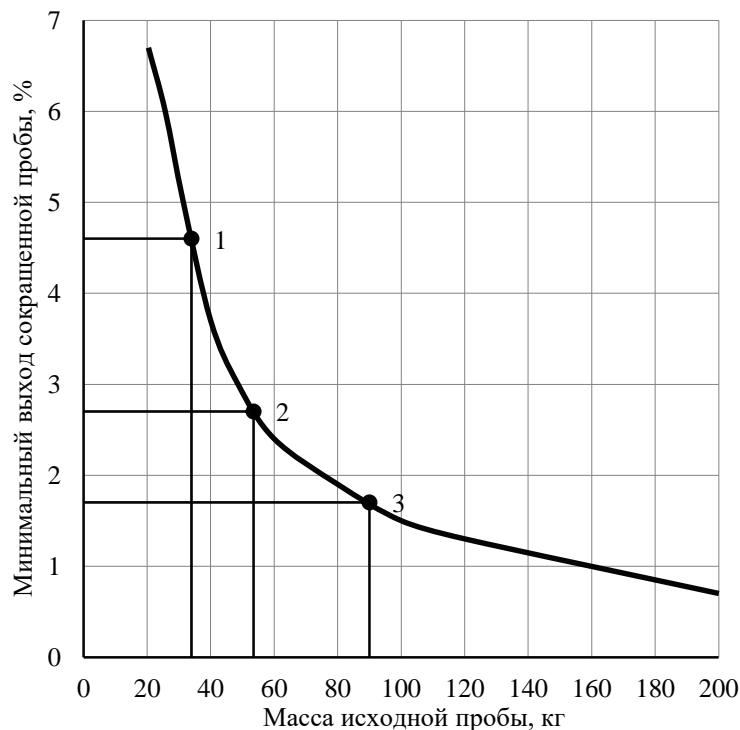


Рисунок 6.14 – Зависимость выхода сокращенной пробы крупностью (-5) мм от массы исходной пробы и геометрических параметров дискового сократителя при относительной случайной погрешности сокращения 15 %:

*1 – радиус разбрасывающего диска 0,05 м; 2 – радиус разбрасывающего диска 0,10 м;  
3 – радиус разбрасывающего диска 0,15 м*

В таблицах 6.5 и 6.6, а также на рисунке 6.16 приведены результаты расчета радиуса разбрасывающего диска и минимального выхода сокращенной пробы дискового сократителя для различной крупности сокращаемого материала.

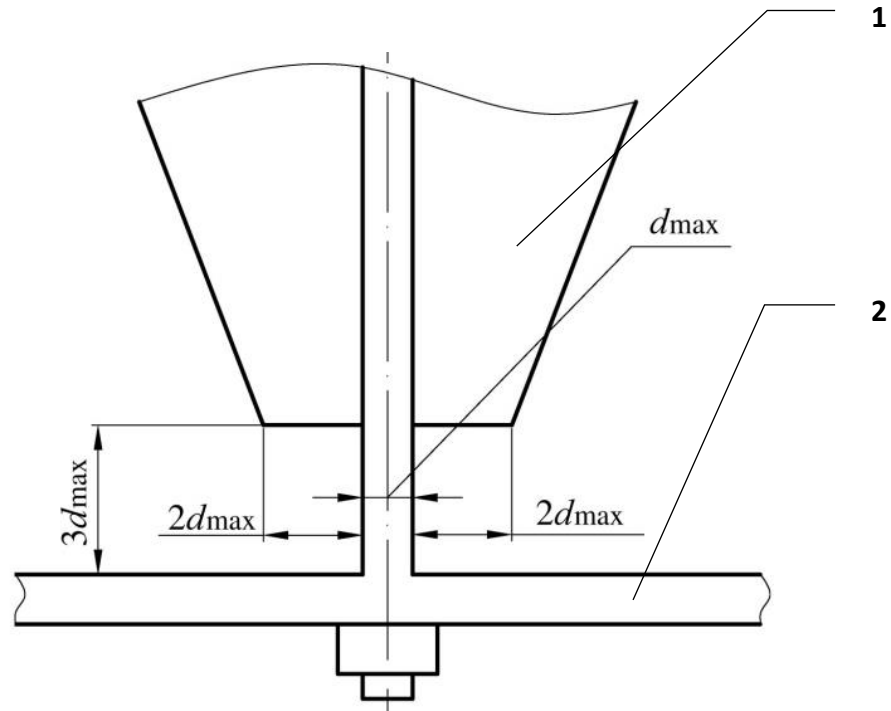


Рисунок 6.15 – Габариты рабочей зоны дискового сократителя:  
1 – подводящая воронка; 2 – разбрасывающий диск

Таблица 6.5 – Зависимость радиуса разбрасывающего диска и минимального выхода сокращенной пробы от крупности сокращаемого материала

Максимальная крупность сокращаемого материала, мм	Минимальный радиус разбрасывающего диска, м	Минимальный выход сокращенной пробы, %
10	0,086	10,53
20	0,170	10,62
30	0,250	10,84
50	0,430	10,49

Таблица 6.6 – Зависимость минимального выхода сокращенной пробы от крупности сокращаемого материала при различном радиусе разбрасывающего диска

Радиус разбрасывающего диска, м	Выход сокращенной пробы минимальный, %			
	максимальная крупность сокращаемого материала, мм			
	10	20	30	50
0,086	10,53	---	---	---
0,170	5,31	10,62	---	---
0,250	3,67	7,08	10,84	---
0,430	2,17	4,25	6,23	10,49

Результаты расчета радиуса разбрасывающего диска и минимального выхода сокращенной пробы для различной крупности сокращаемого материала дают наглядное представление о возрастании величины радиуса разбрасывающего диска с увеличением крупности, а также о стабильном значении минимального выхода сокращенной пробы. При постоянной крупности

сокращаемого материала увеличение радиуса разбрасывающего диска приводит к уменьшению минимального выхода сокращенной пробы. Так, при максимальной крупности сокращаемой пробы 10 мм увеличение радиуса разбрасывающего диска с 0,086 до 0,170 м снижает минимальный выход сокращенной пробы с 10,53 до 5,31 %, а при радиусе разбрасывающего диска 0,430 м минимальный выход составляет 2,17 %.

Полученные зависимости наглядно демонстрируют взаимосвязь радиуса разбрасывающего диска сократителя  $R$ , минимального выхода сокращенной пробы и крупности сокращаемого материала:

- с увеличением крупности материала исходной пробы радиус разбрасывающего диска  $R$  увеличивается;
- с увеличением радиуса разбрасывающего диска  $R$  для исходной пробы постоянной крупности минимальный выход сокращенной пробы снижается.

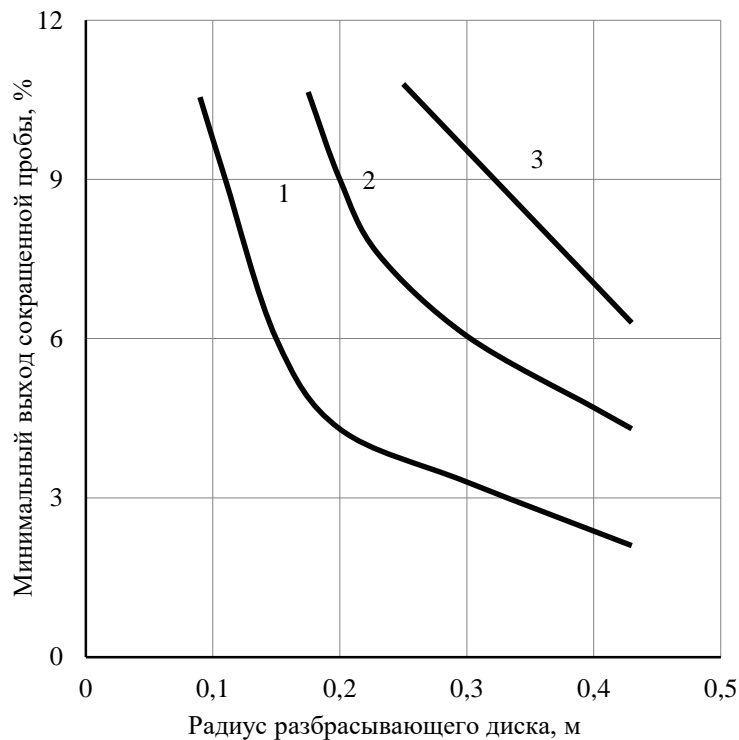


Рисунок 6.16 – Зависимость минимального выхода сокращенной пробы от радиуса разбрасывающего диска для различной крупности сокращаемого материала:

- 1 – для крупности минус 10 мм; 2 – для крупности минус 20 мм;  
3 – для крупности минус 30 мм

Существенное влияние на величину случайной погрешности сокращения в дисковом сократителе оказывают следующие переменные факторы [3, 224, 225]:

1. Производительность дискового сократителя по исходному материалу (производительность подачи на разбрасывающий диск сокращаемого материала).
2. Частота вращения разбрасывающего диска сократителя.
3. Крупность и гранулометрический состав исходного материала.

Теоретическое обоснование оптимальных параметров режима сокращения включает в себя определение номинальной производительности сократителя по исходному материалу и номинальной частоты вращения диска сократителя в

зависимости от максимальной крупности и гранулометрического состава сокращаемого материала.

*Номинальная производительность дискового сократителя  $Q_c$*  – это его производительность по исходному питанию, при которой материал сходит с поверхности вращающегося диска в виде слоя толщиной в одну частицу максимальной крупности.

*Номинальная частота вращения разбрасывающего диска сократителя  $n_c$*  – это частота вращения диска, при которой поток материала сходит с его поверхности в виде одного слоя толщиной в одну частицу за один полный оборот диска.

При работе дискового сократителя с номинальными производительностью и частотой вращения диска обеспечивается оптимальный, с точки зрения минимизации случайных погрешностей, режим сокращения пробы. Принципиально важным является наличие эффекта перемешивания сокращаемого материала в тонком слое на поверхности вращающегося диска. В этом случае практически отсутствуют эффекты сегрегации, которые могут отрицательным образом влиять на эффективность усреднения материала. Отклонения от номинальных параметров работы дискового сократителя приводят к возникновению дополнительных погрешностей.

Слой сокращаемого материала толщиной в одну частицу, сходящий с поверхности диска за один его полный оборот, является расчетным элементом потока сокращаемого материала и носит наименование «единичный кольцевой объем материала». За линейные размеры сечения единичного кольцевого объема принят размер частицы сокращаемого материала максимальной крупности  $d_{\max}$ . Сечение единичного кольцевого объема условно принято квадратным  $d_{\max}^2$ . Форма частицы сокращаемого материала условно принята шарообразной. Схема выделения из потока единичного кольцевого объема материала показана на рисунке 6.17.

На основании вышеизложенного выведена формула для расчета номинальной производительности дискового сократителя:

$$Q_c = 60 \cdot K \cdot V_k \cdot n, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (6.6)$$

где  $K$  – коэффициент заполнения материалом единичного кольцевого объема;  $V_k$  – единичный кольцевой объем,  $\text{м}^3$ ;  $n$  – частота вращения диска,  $\text{мин}^{-1}$ .

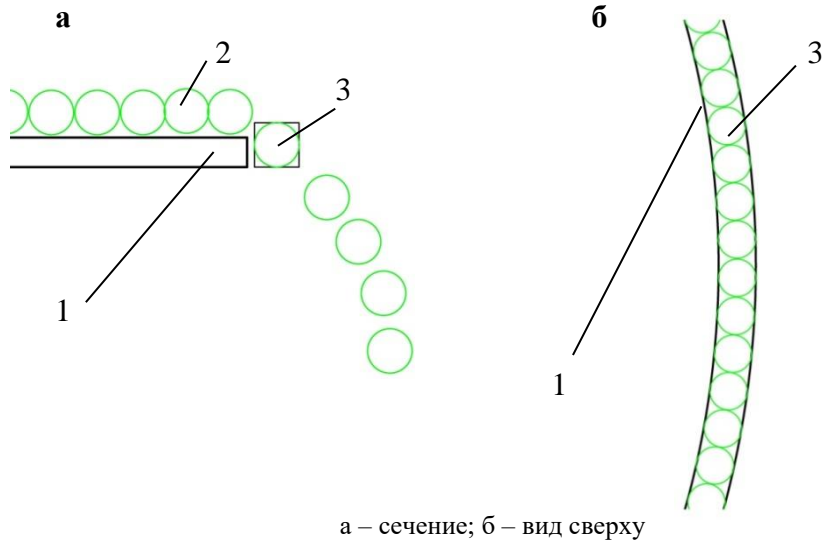
Единичный кольцевой объем материала образован длиной окружности диска сократителя и размером частицы материала максимальной крупности.

Единичный кольцевой объем материала может быть вычислен на основании зависимости:

$$V_k = 2\pi \cdot \left( R + \frac{d_{\max}}{2} \right) \cdot d_{\max}^2, \text{ м}^3, \quad (6.7)$$

где  $R$  – радиус диска сократителя, м;  $d_{\max}$  – размер частицы сокращаемого материала максимальной крупности, м.





а – сечение; б – вид сверху

Рисунок 6.17 – Принципиальная схема выделения из потока единичного кольцевого объема материала: 1 – вращающийся диск сократителя; 2 – слой сокращаемого материала; 3 – единичный кольцевой объем сокращаемого материала

Тогда формула (6.6) принимает вид:

$$Q_c = 120\pi \cdot K \cdot \left(R + \frac{d_{\max}}{2}\right) \cdot d_{\max}^2 \cdot n, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (6.8)$$

Коэффициент заполнения единичного кольцевого объема частицами материала  $K$  можно представить, как отношение объема частиц, находящихся внутри единичного кольцевого объема, к самому единичному кольцевому объему:

$$K = \frac{V_M}{V_K}. \quad (6.9)$$

Объем частиц материала различной крупности внутри единичного кольцевого объема определяется по формуле

$$V_M = \sum_{i=1}^m V_{d_i} \cdot N_i = \sum_{i=1}^m \left(\pi \frac{(\bar{d}_i)^3 \cdot N_i}{6}\right), \text{ м}^3, \quad (6.10)$$

где  $d_i$  – средний размер частицы  $i$ -го класса крупности, м;  $N_i$  – число частиц  $i$ -го класса крупности, ед.;  $m$  – количество классов крупности.

Количество частиц того или иного класса крупности определяется на основании зависимости

$$N_i = \frac{L_k \cdot \gamma_i}{\bar{d}_i}, \quad (6.11)$$

где  $L_k = 2\pi \left( R + \frac{d_{\max}}{2} \right)$  – длина единичного кольцевого объема по его оси, м;  
 $\gamma_i$  – выход  $i$ -го класса крупности, д.ед.

В этом случае формула для вычисления коэффициента  $K$  примет следующий вид:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\pi (\bar{d}_i)^2 \cdot \gamma_i}{6} \right)}{(d_{\max})^2} = \frac{\pi}{6 \cdot (d_{\max})^2} \cdot \sum_{i=1}^m \left( (\bar{d}_i)^2 \cdot \gamma_i \right). \quad (6.12)$$

С целью обеспечения эффективного перемешивания материала на вращающемся диске сократителя и равномерного распределения потока при отрыве от поверхности диска приняты допущения, при которых сократитель работает с номинальной производительностью  $Q_c$ :

1. Частицы сокращаемого материала после отрыва от края диска не должны сталкиваться друг с другом при перемещении в вертикальной плоскости (в полете после отрыва от поверхности диска одна частица не должна опережать другую) до прохождения плоскости пробоотсекателя.

Выполнение данного условия обеспечивает пропорциональное отношение скоростей частицы в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Величина скорости частицы в горизонтальной плоскости не должна превышать величину ее скорости в вертикальной плоскости более, чем в четыре раза. В таком случае при прохождении плоскости пробоотсекателя соотношение скоростей частицы в вертикальной и горизонтальной плоскостях выражается следующей зависимостью:

$$v_{\text{гор}} \leq 4v_{\text{верт}}. \quad (6.13)$$

Предельный случай приведенной зависимости будет представлять собой строгое равенство:

$$v_{\text{гор}} = 4v_{\text{верт}}. \quad (6.14)$$

2. Расстояние от края диска до наружной стенки пробоотсекателя в горизонтальной плоскости должно составлять величину не менее четырех размеров частицы максимального размера ( $4d_{\max}$ ). Это обеспечит беспрепятственное прохождение частицы в пробоотсекатель даже при наличии у его наружной стенки одной частицы, еще не вошедшей в пробоотсекатель. За счет такого условия соблюдается правило трехкратного превышения ширины щели над размером куска максимальной крупности [3, 15, 32, 43].

3. Расстояние от поверхности диска до крайнего габарита пробоотсекателя в вертикальной плоскости должно составлять величину не более половины максимального размера частицы ( $0,5d_{\max}$ ). Таким образом будут созданы условия для предотвращения выбрасывания частиц из пробоотсекателя [3].

4. Частица задерживается в пробоотсекателе при условии, что опускается внутрь пробоотсекателя не менее, чем на половину своего диаметра [3, 159, 219].

5. В материале, распределенном по поверхности вращающегося диска тонким слоем (к периферии диска – монослоем), отсутствуют условия для возникновения эффекта сегрегации [3, 159].

Перечисленные допущения проиллюстрированы на рисунке 6.18.

Номинальная частота вращения диска сократителя  $n_c$  может быть найдена через функцию скорости движения частицы в вертикальной плоскости после отрыва от поверхности диска. Величина потенциальной энергии, которой обладает частица в начале падения, после того, как со скоростью  $v_{\text{гор}}$  она отрывается от поверхности диска, рассчитывается по уравнению

$$\frac{m \cdot (v_{\text{гор}})^2}{2} = \frac{m \cdot (4 \cdot v_{\text{верт}})^2}{2} = m \cdot g \cdot h, \quad (6.15)$$

где  $h$  – расстояние, которое частица проходит после отрыва от поверхности разбрасывающего диска в вертикальной плоскости, м.

Так как крупность сокращаемого материала известна, величину  $h$  допускается выразить через средний размер частицы:  $h = d_{\text{cp}} = \frac{d_{\max}}{2}$ . В этом случае формула скорости частицы в вертикальной плоскости с учетом равенства (6.14) принимает вид

$$v_{\text{верт}} = 0,79 \cdot \sqrt{d_{\max}}, \text{ м/с.} \quad (6.16)$$

Выражение для расчета числа единичных кольцевых объемов, прошедших через край разбрасывающего диска в единицу времени, получит следующий вид:

$$N_{\text{кол}} = \frac{v_{\text{верт}}}{d_{\max}} \cdot \Delta t = \frac{0,79}{\sqrt{d_{\max}}} \cdot \Delta t. \quad (6.17)$$

На основании этого номинальная производительность дискового сократителя определяется исходя из формулы

$$Q_c = 3600 \cdot V_m \cdot N_{\text{кол}}, \text{ м}^3/\text{ч.} \quad (6.18)$$

Отсюда, согласно выражениям (6.8) и (6.18), формула для расчета номинальной частоты вращения разбрасывающего диска сократителя примет окончательный вид:

$$n_c = 47,4 \cdot \frac{1}{\sqrt{d_{\max}}}, \text{ мин}^{-1} \quad (6.19)$$

Полученные закономерности позволяют определить типоразмер дискового сократителя и выполнить количественную оценку условий применения дисковых сократителей для работы с различными по свойствам пробами. Таким образом, технологический расчет дискового сократителя позволяет учесть индивидуальные свойства материала для обеспечения минимально возможной случайной погрешности сокращения.

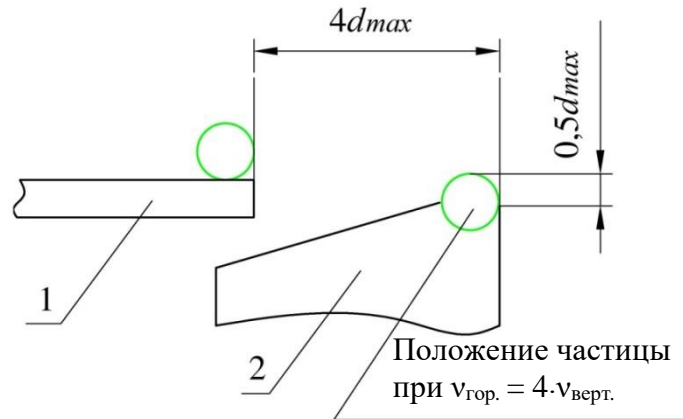


Рисунок 6.18 – Взаимное расположение частиц сокращаемого материала в рабочей зоне дискового сократителя при его работе с номинальной производительностью:  
1 – вращающийся диск сократителя; 2 – пробоотсекатель

Технологический расчет оборудования станции опробования типа «СОП-1П» основан на определении выхода отобранной (сокращенной) пробы после каждой операции отбора или сокращения [71, 214, 217, 237, 239, 261]. Процедура отбора и сокращения пробы при помощи указанного оборудования предусматривает несколько операций:

- отбор начальной (первичной) пробы из исходного опробуемого потока при помощи щелевого пробоотборника типа «ПЩП»;
- отбор микропорций (микропроб) от потока начальной пробы при помощи секторного пробоотбирателя в пробоотсекательном модуле МП-04Р, МП-03Р или МП-02Р;
- сокращение отобранных микропорций в сократителе потока модуля МП-04Р или МП-03Р (для модуля МП-02Р сократитель потока не предусмотрен).

Последовательность и алгоритм расчета выходов пробы для станции опробования типа «СОП-1П» приведен ниже:

1. Расчет выхода начальной пробы, отбираемой щелевым пробоотборником из потока пульпы в трубопроводе, определяется по формуле

$$\gamma_{нп} = \frac{S_{ощ}}{S_{пщп}} \cdot 100, \% \quad (6.20)$$

где  $S_{ощ}$  – площадь щели щелевого отсекавателя,  $m^2$ ;  $S_{пщп}$  – площадь расширительной камеры щелевого пробоотборника,  $m^2$ .

Площадь отсекающей щели щелевого отсекателя и площадь расширительной камеры щелевого пробоотборника рассчитываются по формулам

$$S_{\text{ощ}} = b_{\text{рк}} \cdot b_{\text{щ}}, \text{ м}^2, \quad (6.21)$$

$$S_{\text{пщп}} = b_{\text{рк}}^2, \text{ м}^2, \quad (6.22)$$

где  $b_{\text{рк}}$  – высота расширительной камеры квадратного сечения, равная внутреннему диаметру трубопровода, м;  $b_{\text{щ}}$  – ширина отсекающей щели, м.

Аналогичным образом возможно определить величину выхода начальной пробы для всех типоразмеров станции опробования.

2. Расчет выхода пробы после секторного пробоотбирателя выполняется с учетом средней ширины отсекающей щели, имеющей форму сектора, а также радиуса вращения отсекателя и внутреннего диаметра подводящего патрубка [3]. Для пробосократительного модуля МП-04Р, например, минимальная и максимальная ширина отсекающей щели составляет 0,012 и 0,018 м соответственно (отсюда средняя ширина будет равна 0,015 м), радиус вращения отсекателя равен 0,25 м, а внутренний диаметр подводящего патрубка составляет 0,05 м (рисунок 6.19).

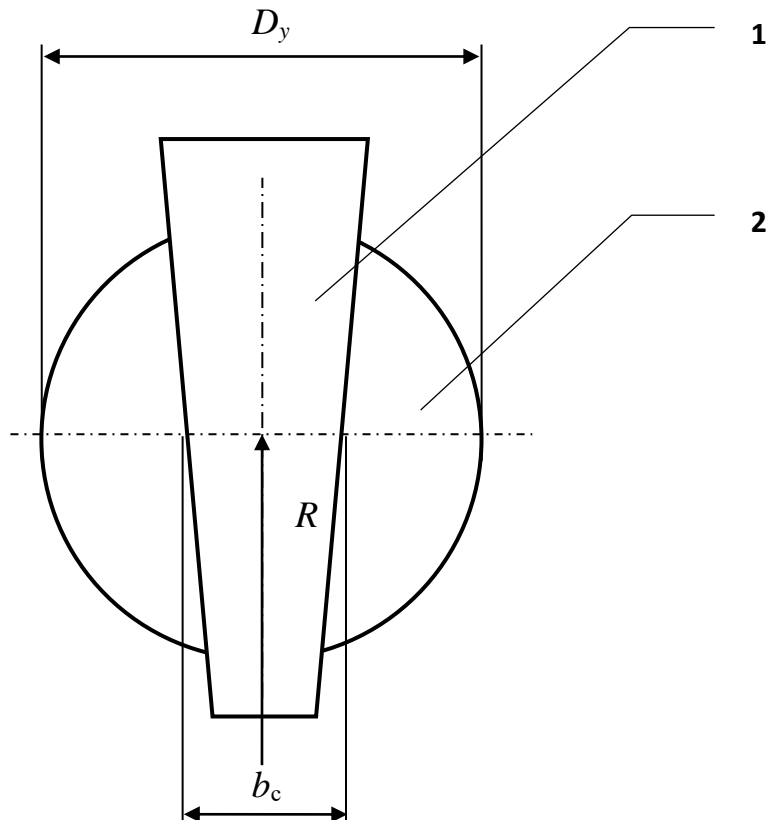


Рисунок 6.19 – Линейные размеры рабочей зоны секторного пробоотбирателя пробосократительного модуля МП-04Р:

1 – отсекатель секторного пробоотбирателя; 2 – подводящий патрубок пробосократительного модуля МП-04Р

Длина окружности, описываемая отсекателем за один полный оборот, будет найдена по формуле

$$L = 2\pi R, \quad (6.23)$$

где  $R$  – радиус вращения отсекаателя, м.

Результат расчета длины окружности:

$$L = 2\pi \cdot 0,25 = 1,57 \text{ м.}$$

Для расчета выхода пробы секторного пробоотбирателя пробосократительного модуля типа «МП» существует расчетная формула

$$\gamma_{\text{сект.}} = \frac{D_y \cdot b_c}{L \cdot D_y} \cdot 100 = \frac{b_c}{L} \cdot 100, \%, \quad (6.24)$$

где  $D_y$  – внутренний диаметр подводящего патрубка, м;  $b_c$  – средняя ширина отсекающей щели, м.

При подстановке заданных для «МП-04Р» величин получен результат

$$\gamma_{\text{сект.}} = \frac{0,015}{1,57} \cdot 100 = 0,96, \%$$

Таким образом для станции опробования типоразмера «СОП-1-89» выход пробы после секторного пробоотбирателя составит

$$\gamma_{\text{сект. СОП}} = \frac{6,74 \cdot 0,96}{100} = 0,065, \%$$

3. Сократитель потока пробосократительного модуля МП-04Р обеспечивает степень сокращения от 10 до 100 (выход сокращенной пробы может составлять от 10 до 1 %). Отсюда для станции опробования типоразмера «СОП-1-89» с модулем МП-04Р выход пробы после сократителя потока может составить от 0,0065 до 0,00065 %. Проба с таким выходом будет являться конечной накопленной пробой для станции опробования. При использовании в составе станции опробования модуля МП-02Р (без сократителя потока) конечной сокращенной пробой будет проба после секторного пробоотбирателя с выходом 0,065 % в рассматриваемом случае.

Значения выходов пробы после операций последовательного отбора и сокращения для основных типоразмеров станции опробования типа «СОП-1П» с пробосократительным модулем МП-04Р приведены в таблице 6.7.

Результаты расчета показывают, например, что общая степень сокращения станции опробования типоразмера «СОП-1-426» может достигать значения 700 000. Это означает, что при опробовании потока пульпы производительностью 300 м<sup>3</sup>/ч объем конечной накопленной пробы составит 0,00043 м<sup>3</sup>/ч (430 мл/ч). Получаемый объем накопленной пробы в большинстве случаев соответствует требованиям технического контроля, является достаточным для проведения

анализа, но при этом и не избыточным, чтобы проводить дополнительное сокращение накопленной пробы.

Таблица 6.7. – Результаты расчета выхода пробы для станции опробования пульпы типа «СОП-1П»

Выход пробы, %	Типоразмер станции опробования						
	«СОП-1-89»	«СОП-1-133»	«СОП-1-219»	«СОП-1-273»	«СОП-1-325»	«СОП-1-377»	«СОП-1-426»
После шелевого пробоотборника (начальная проба)	6,74	4,51	2,74	2,20	1,85	1,59	1,41
После секторного пробоотбирателя	0,065	0,043	0,026	0,021	0,018	0,015	0,014
После сократителя потока (степень сокращения 100)	0,65 $\times 10^{-3}$	0,43 $\times 10^{-3}$	0,26 $\times 10^{-3}$	0,21 $\times 10^{-3}$	0,18 $\times 10^{-3}$	0,15 $\times 10^{-3}$	0,14 $\times 10^{-3}$

Секторным пробоотбирателем пробосократительного модуля точечные пробы отсекаются каждые две секунды. За смену продолжительностью 12 часов таким образом будет отобрано 21 600 проб.

Дисковый сократитель пробосократительного модуля выделяет за две секунды десять точечных проб, направляемых в накопленную сменную пробу. При получаемом таким образом числе точечных проб предлагаемые станции опробования становятся универсальными для любых точек опробования всех обогатительных фабрик. Так, например, при заданной массе твердого в объединенной сменной пробе в 7 000 граммов масса одной точечной пробы, поступающей в эту сменную пробу с дискового сократителя, может составлять около 30 мг. Средняя масса одного куска опробуемой руды в пульпе равняется примерно 0,05 мг. Это означает, что в одной точечной пробе, формирующей сменную пробу, будет находиться не более 600 кусков, отбираемых от тщательно перемешиваемой пробы. Пример расчета по предложенной ранее формуле показан ниже.

Пусть  $\alpha = 1,2 \%$ ;  $\beta_m = 34,6 \%$ ;  $\rho_m = 4200 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho_n = 3000 \text{ кг/м}^3$ .

Покусовой коэффициент вариации:

$$V_k = \sqrt{\frac{4200 \cdot 34,6}{3000 \cdot 1,2}} \cdot 100 = 635,3 \%$$

Коэффициент вариации  $V_d$  точечных проб дискового сократителя будет равен

$$V_d = \frac{V_k}{\sqrt{n_d}}, \quad (6.25)$$

где  $n_d$  – число кусков, отбираемых в точечную пробу дисковым сократителем ( $n_d = 7\ 000$ ).

Такие условия приближают отбор объединенной сменной пробы при помощи станции опробования пульпы к условиям покускового отбора.

Случайная относительная погрешность отбора пробы от потока пульпы составит

$$P_{\alpha \text{ см}}^2 = \frac{4V_T^2}{N_T} + \frac{4V_D^2}{N_D} = \frac{4V_T^2}{N_T} + \frac{4V_K^2}{n_d \cdot N_D}. \quad (6.26)$$

где  $V_T$  – коэффициент вариации точечных проб (принято максимальное значение по ГОСТ 14180-80, равное 35 %);  $V_K$  – покусковой коэффициент вариации (для примера  $V_K = 635,3$  %);  $N_T$  – число точечных проб, отбираемых секторным сократителем ( $N_T = 21\ 600$ );  $n_d$  – число кусков, отбираемых в точечную пробу дисковым сократителем ( $n_d = 600$ );  $N_D$  – число точечных проб, отбираемых дисковым сократителем ( $N_D = 216\ 000$ ).

Общая принципиальная схема комбинированного высокочастотного пробоотбирателя представлена на рисунке 6.20.

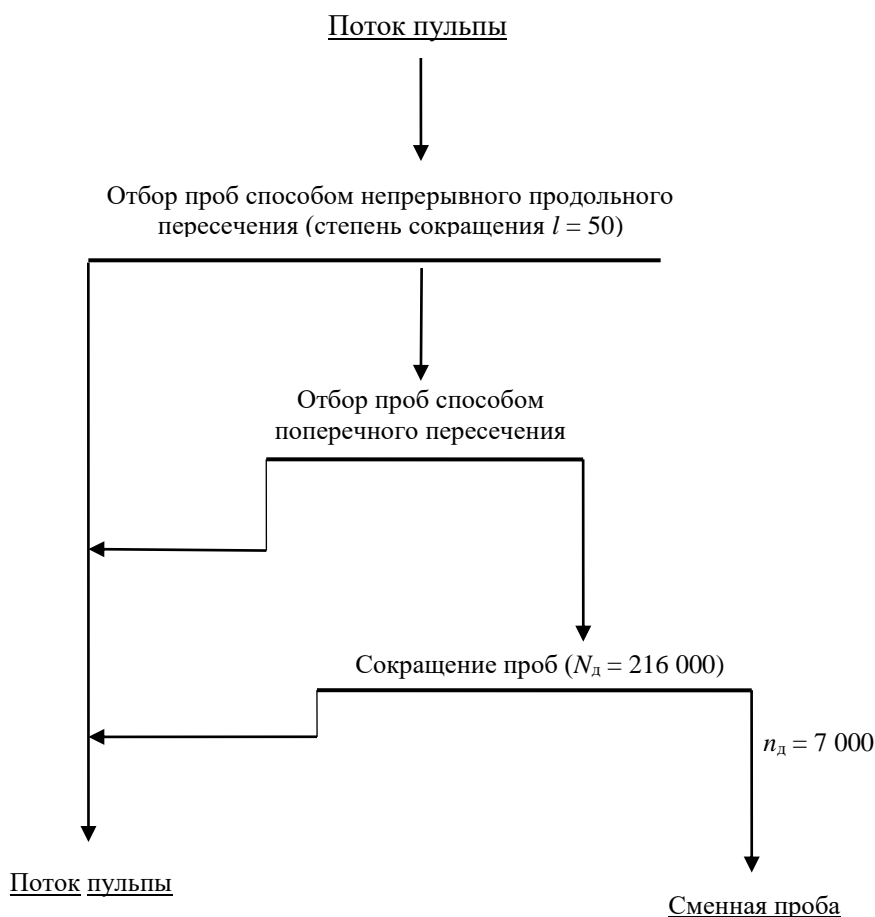


Рисунок 6.20 – Принципиальная схема комбинированного высокочастотного пробоотбирателя



Случайная погрешность отбора сменной пробы  $P_{\alpha}$ , будет равна

$$P_{\alpha}^2 = \frac{4 \cdot 35^2}{21 \ 600} + \frac{4 \cdot 635,3^2}{600 \cdot 216 \ 000} = 0,277 + 0,01 = 0,287 \%^2.$$

$$P_{\alpha} = 0,54 \%$$

Полученный результат соответствует технологическому пределу достоверного опробования.

#### **6.4. Защита интеллектуальной собственности на разработанное оборудование. Сертификация оборудования**

Разработанное оборудование для отбора и сокращения проб комбинированным способом защищено патентами Российской Федерации на изобретение:

- дисковый сократитель типа «СОД-2» – патент на изобретение № 2347205 [271, 272];

- станция опробования пульпы и способ опробования потока пульпы с ее использованием – патент на изобретение № 2511377 [273].

Согласно постановлению правительства Российской Федерации № 982 от 01.12.2009 года «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии» [274], оборудование для отбора и сокращения проб обязательной сертификации не подлежит. Тем не менее, сложившаяся практика внедрения различного оборудования на горно-обогатительных предприятиях требует сертификации в том числе и оборудования, не подлежащего указанной процедуре. По этой причине разработанное оборудование для отбора и сокращения проб сертифицируется (декларируется) в добровольном порядке:

- дисковый сократитель типа «СОД-2» – декларация ЕАЭС № RU Д-RU.РА01.В.29718/21 [275];

- пробоотборник щелевой поточный для пульпы типа «ПЩП» – сертификат соответствия № РОСС RU.НА39.Н00129 [276], выпускается в соответствии с ТУ 3132-005-12282200-2013 [277];

- модуль пробосократительный типа «МП» – сертификат соответствия № РОСС RU.НА39.Н00130 [278], выпускается в соответствии с ТУ 3132-004-12282200-2013 [279].

## 6.5. Выводы

1. Разработаны устройство и принцип действия нового оборудования для отбора и сокращения проб неподвижных и движущихся продуктов комбинированным способом.

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 сыпучих (кусковых) продуктов разработана станция опробования типа «СО-КН».

Налажен промышленный выпуск как указанного типового оборудования, так и его нестандартных вариантов для применения в различных условиях эксплуатации, а также для различных по назначению задач опробования.

2. Предложены и теоретически обоснованы *номинальные параметры работы дискового сократителя: номинальная производительность и номинальная частота вращения диска*. Минимально возможная погрешность сокращения достигается при работе дискового сократителя с номинальной производительностью по исходному питанию и номинальной частотой вращения диска. Указанные параметры являются оптимальными с позиции минимизации случайной погрешности сокращения. Номинальные параметры работы дискового сократителя устанавливают зависимость между максимальной крупностью сокращаемого материала, его гранулометрическим составом и размерами рабочей зоны сократителя.

3. 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: *допустимую случайную погрешность сокращения, минимальную массу исходной пробы, минимальный выход сокращенной пробы*.

Теоретически обосновано отсутствие условий для возникновения эффекта сегрегации, если процесс усреднения проводится 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.

4. 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.

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

## **7. Применение высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб**

### **7.1. Элементы компоновочных решений по оборудованию для отбора и сокращения проб**

#### **7.1.1. Элементы компоновочных решений по оборудованию для отбора проб от неподвижных продуктов**

Компоновочные решения по новому оборудованию для отбора и сокращения проб в большинстве случаев сводятся к размещению дискового сократителя типа «СОД-2» в существующих помещениях и на промышленных площадках для выполнения отбора проб способом перегрузки неподвижного массива [69, 70, 78, 99, 106, 150, 160, 226, 280, 281, 282, 283, 284]. Для удобства работы и лучшей применимости аппарата к условиям опробования на месте размещения дискового сократителя могут быть смонтированы вспомогательные конструкции и устройства, предназначенные для подачи опробуемого продукта на сокращение, отведения и загрузки в тару опробованного продукта, а также отведения и накопления сокращенной пробы. Такими устройствами могут быть приемные бункеры, питатели, желоба, контейнеры и т. п. Вспомогательные конструкции могут быть выполнены в виде фундаментов, опорных рам, эстакад, площадок для обслуживания и приямков. Для удобства текущей эксплуатации, обслуживания и ремонта необходимые компоновочные решения и дополнительная функциональность могут быть предусмотрены конструкцией дискового сократителя. Дисковые сократители могут быть также совмещены с оборудованием для дробления, измельчения и грохочения опробуемых продуктов в составе аппаратных линий.

Опробование неподвижного массива способом перегрузки выполняется на этапах входного и выходного контроля продуктов обогащения (продуктов переработки). При этом операция сокращения может выполняться как для накопленной начальной (объединенной) пробы продукта, так и для всего объема опробуемого продукта.

На рисунке 7.1 показан дисковый сократитель СОД-2-100В, установленный на нулевой отметке в отделении пробоподготовки медеплавильного комбината. Сократитель предназначен для сокращения проб руд и концентратов крупностью минус 6 мм. Загрузка сокращаемой пробы выполняется вручную при помощи совка или ведра.

На рисунке 7.2 продемонстрирован дисковый сократитель СОД-2-400, смонтированный в составе аппаратной линии «бункер – вибрационный питатель – щековая дробилка – дисковый сократитель», предназначенной для подготовки исходного сырья к металлургическому переделу. Преимуществом данного

компоновочного решения является отсутствие трудозатрат, связанных с входным опробованием сырья: операция отбора пробы от всей партии сырья совмещена с обязательной операцией его дробления перед приготовлением шихты [3, 78, 99, 285, 286, 287, 288, 289]. Обе операции выполняются в одно время и локализованы в одном месте. Сырье, подлежащее дроблению и опробованию, поступает на промплощадку в контейнерах типа «МКР». При помощи автокрана контейнеры поднимаются и устанавливаются над бункером, после чего разрезаются снизу. Таким образом выполняется загрузка сырья в бункер, из которого при помощи вибрационного питателя подается в щековую дробилку. Дробленый продукт самотеком направляется в дисковый сократитель. Возвратный поток опробованного дробленого продукта разгружается из дискового сократителя в контейнер типа «МКР», размещенный в приемке. После заполнения контейнер извлекается из приемки при помощи автокрана. Для удобства извлечения контейнера в конструкции дискового сократителя предусмотрено выведение разгрузочного желоба из зоны работы автокрана за счет его поворота на  $90^0$  в горизонтальной плоскости.



Рисунок 7.1 – Дисковый сократитель СОД-2-100В на нулевой отметке в отделении пробоподготовки

*a**б*

*a* – общий вид аппаратной линии;

*б* – изменение положения разгрузочного желоба дискового сократителя для извлечения контейнера

Рисунок 7.2 – Аппаратная линия для дробления и опробования сыпучих продуктов способом перегрузки:

*1* – бункер с вибрационным питателем; *2* – щековая дробилка;

*3* – дисковый сократитель СОД-2-400

Аналогичный вариант совмещения операций дробления пробы и последующего ее сокращения показан на рисунке 7.3. В указанном случае аппаратная линия «молотковая дробилка – дисковый сократитель» используется для дробления, сокращения и деления проб в схеме пробоподготовки исходного сырья крупностью минус 10 мм. Объединенная проба от партии сырья подается в дробилку вручную, возвратный продукт дискового сократителя разгружается в мобильный контейнер, после чего присоединяется к опробуемой партии.

На рисунке 7.4 показан дисковый сократитель СОД-2-400 для опробования металлургических шлаков, объединенный с приемным бункером. При работе указанного сократителя возвратный продукт собирается в контейнер типа «МКР». Для беспрепятственного извлечения контейнера при помощи кран-балки предусмотрена трансформация конструкции дискового сократителя: разгрузочная система смещается в горизонтальной плоскости под эстакаду, на которой установлен сократитель.

Аналогичным образом для выполнения опробования способом перегрузки может применяться и другое оборудование, соответствующее требованиям комбинированного способа отбора и сокращения проб. На рисунке 7.5 показана аппаратная линия в составе бункера-питателя, вибрационного грохота и пробосократительного модуля, предназначенная для опробования отдельных партий сыпучих продуктов. При работе линии на сокращение направляется подрешетный продукт вибрационного грохота. Высота аппаратной линии составляет 3910 мм, длина – 1375 мм и ширина – 2420 мм. Дополнительно для работы линии требуется приямок под тару, расположенный ниже нулевой отметки. В тару выполняется выгрузка опробованного продукта из пробосократительного модуля.

Показанные варианты компоновочных решений подтверждают целесообразность опробования продуктов высокочастотным комбинированным способом перегрузки [237, 249], а также демонстрируют хорошую применимость нового оборудования для отбора и подготовки проб сыпучих продуктов [150, 159, 217, 224, 227, 248]. Дисковые сократители, благодаря универсальности конструкции, индивидуальной компоновке и широкому типоразмерному ряду находят применение для опробования различных по составу и крупности продуктов на разных этапах переработки.

По состоянию на сегодняшний день дисковые сократители и пробосократительные модули находят применение для опробования продуктов способом перегрузки на ведущих отраслевых предприятиях Российской Федерации и стран ближнего зарубежья. В частности, для опробования всей партии продукта способом перегрузки новое оборудование используется в АО «Кыштымский медеэлектролитный завод», ОАО «Уфалейникель», ОАО «Уралмеханобр», ООО «Компания «Интерполихим», АО «ЕЗ ОЦМ».





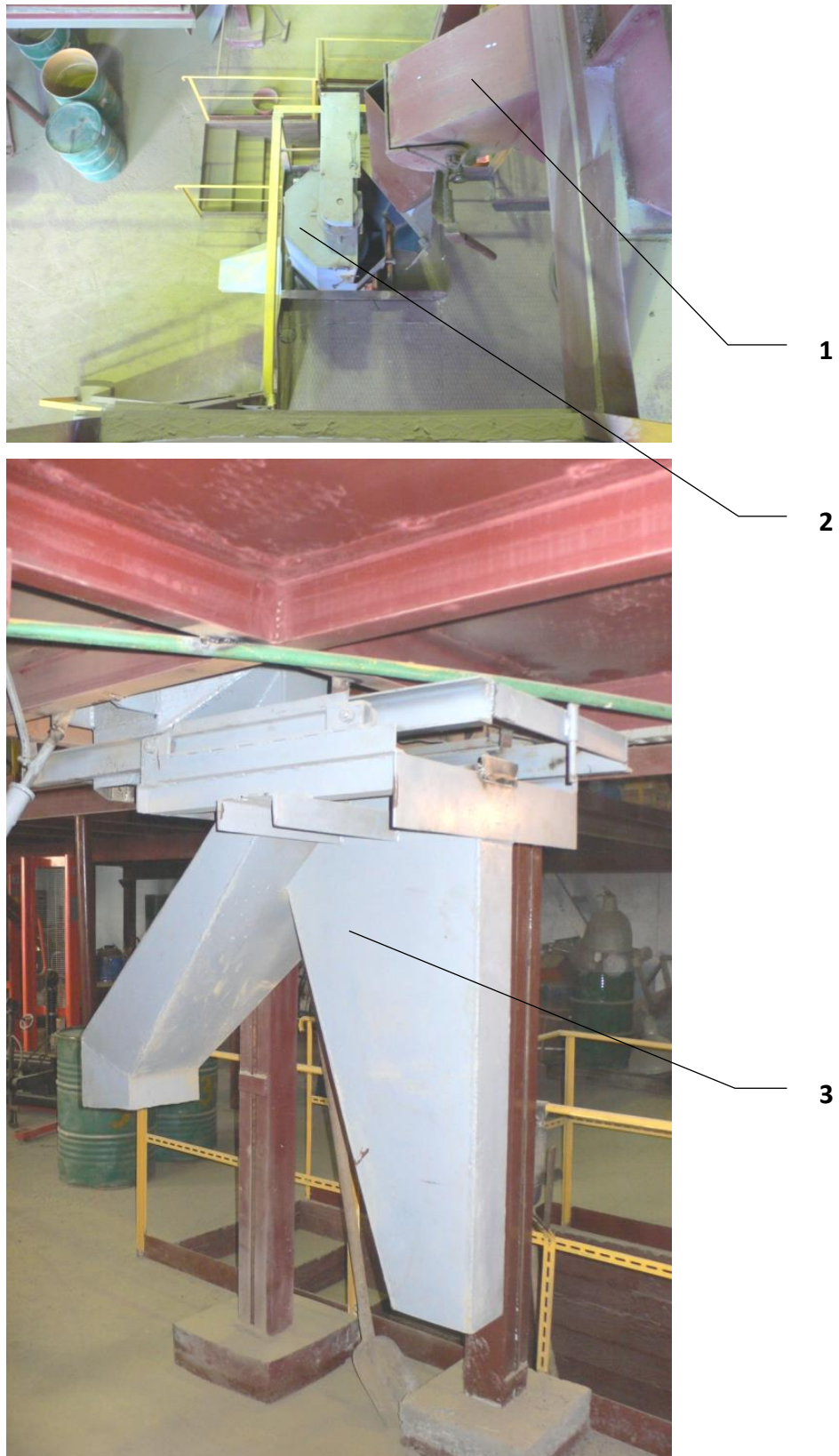


Рисунок 7.4 – Аппаратная линия для дробления и опробования сыпучих продуктов способом перегрузки:  
 1 – разгрузочное устройство бункера; 2 – дисковый сократитель СОД-2-400;  
 3 – подвижная разгрузочная система дискового сократителя

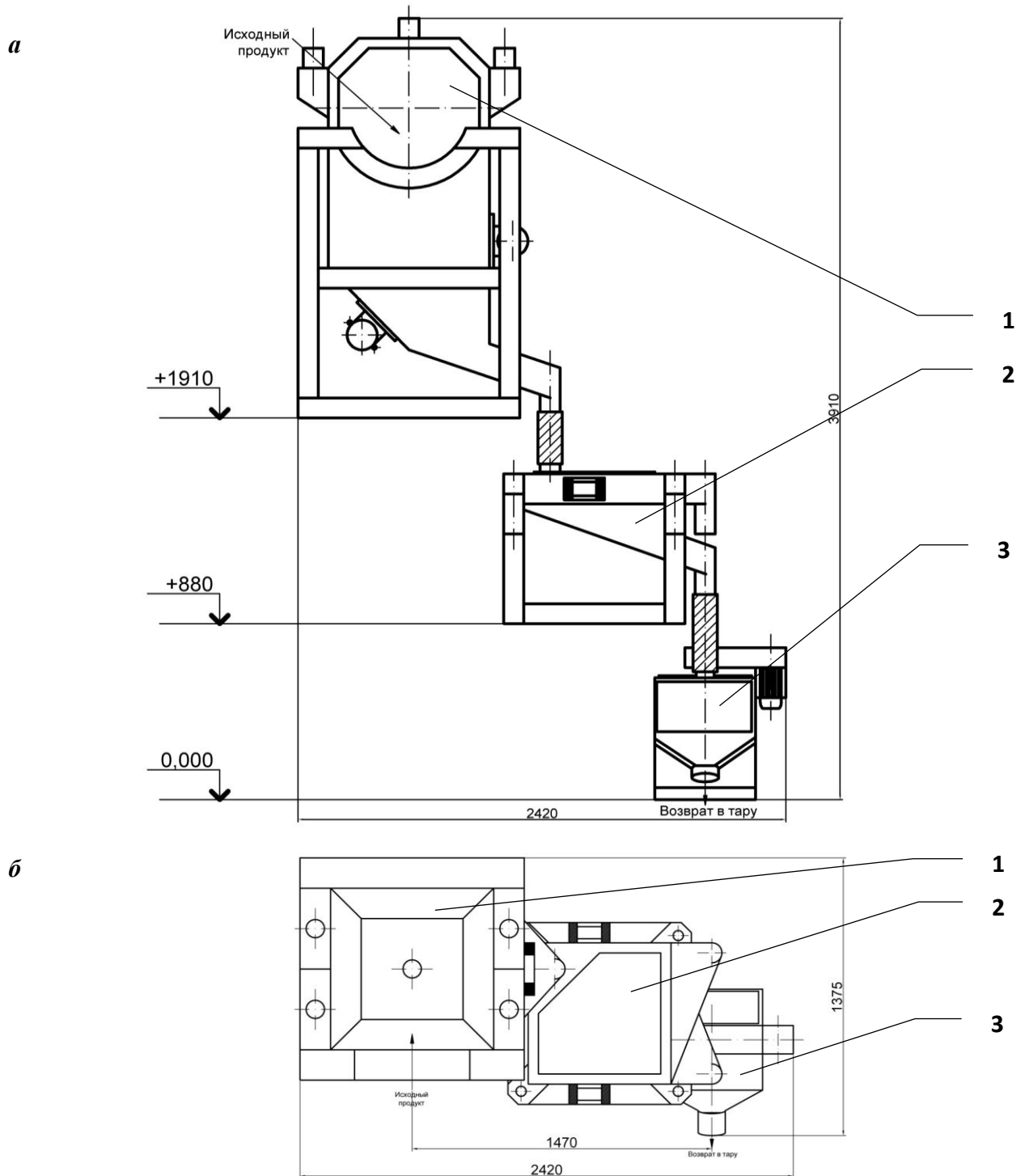


Рисунок 7.5 – Аппаратная линия для опробования сыпучих продуктов с пробосократительным модулем МП-02РС:

1 – бункер-питатель; 2 – вибрационный грохот;  
3 – пробосократительный модуль МП-02РС

### 7.1.2. Элементы компоновочных решений по оборудованию для отбора проб от перемещаемых продуктов

Перемещаемыми продуктами, для опробования которых может быть применено новое оборудование, являются, как правило, потоки пульпы в трубопроводах и сыпучие продукты различной крупности, транспортируемые ленточными конвейерами [1, 2, 3, 6, 43, 46, 60, 69, 70, 82, 95, 109, 153, 260, 290, 292, 293]. Для опробования потоков пульпы применяются преимущественно станции опробования пульпы типа «СОП» в составе щелевого поточного пробоотборника и пробосократительного модуля. Также могут быть использованы станции опробования пульпы типа «СОП-ПС», отличающиеся от «СОП» наличием секторного пробоотборника вместо щелевого поточного пробоотборника [294]. Для потоков пульпы со сравнительно низкой производительностью, транспортируемых по трубопроводам диаметром до 133 мм в режиме самотека, могут быть отдельно использованы только пробоотборные модули [3]. Указанное оборудование на сегодняшний день имеет наибольшее распространение на обогатительных фабриках среди всего нового оборудования, реализующего комбинированный способ отбора и сокращения проб. Станции опробования пульпы типа «СОП» и пробосократительные модули типа «МП» эксплуатируются на двадцати пяти обогатительных фабриках. Все имеющиеся точки опробования пульповых продуктов оснащены новым оборудованием на таких предприятиях, как АО «Рудник Александровский», «Березняковский ГОК» и Пластовская ЗИФ ОАО «Южуралзолото Группа Компаний», ТОО «Бакырчикское горнодобывающее предприятие», АО «RMG Corper», ОсОО «КАЗ Минералз Бозымчак».

Существуют два типа точек размещения станции типа «СОП» в технологической схеме обогатительной фабрики: товарные точки опробования и технологические точки опробования [46].

*Товарными точками опробования*, на которых могут быть установлены станции опробования типа «СОП», являются точки опробования *исходного питания технологической схемы и хвостов обогатительной фабрики*.

В технологической схеме обогатительной фабрики в качестве исходного питания опробуется, как правило, слив гидроциклонов последней стадии измельчения [65, 78, 83, 95, 195, 295, 296, 297]. В ряде случаев товарной точкой опробования является не слив гидроциклонов последней стадии измельчения, а разгрузка стержневой мельницы первой стадии измельчения, работающей в открытом цикле без классифицирующего аппарата. Это обусловлено тем, что во вторую стадию измельчения на некоторых фабриках на доизмельчение подаются промежуточные продукты [1, 95, 100, 230, 259, 298, 299], таким образом разгрузка мельницы первой стадии будет являться крайней точкой, где будет возможно опробовать исходную руду.

Существует два варианта товарного опробования хвостов обогатительной фабрики:

1. Опробование хвостов обогатительной фабрики выполняется по каждой из секций, перерабатывающих различное по составу или по принадлежности к поставщику сырье (руды), что позволяет составлять товарный баланс по каждому виду сырья (руды). В этом случае станция типа «СОП» устанавливается на трубопровод, транспортирующий хвосты каждой секции на пульпонасосную станцию или в хвостохранилище.

2. В случае, если обогатительная фабрика перерабатывает сырье, требующее составления общего товарного баланса по всем секциям, станция может быть установлена на общем (объединенном) потоке хвостов (например, на выходе с пульпонасосной станции).

*Технологическими точками опробования на обогатительных фабриках являются точки опробования следующих продуктов:*

- *исходное питание отдельных операций (циклов) обогащения* (например, исходное питание флотации, гравитационного цикла, сорбции);
- *продукты основных процессов обогащения* (например, хвосты и концентраты отдельных операций обогащения, сорбционная смола, уголь после десорбции);
- *продукты вспомогательных процессов обогащения* (например, фильтраты, слив сгущения).

На месте установки станция опробования типа «СОП» размещается с учетом возможности самотечной транспортировки потока:

- начальной пробы от щелевого пробоотборника до пробосократительного модуля;
- возвратного потока начальной пробы после модуля обратно в общий опробованный поток пульпы;
- микропорций накопленной пробы в пробоприемную емкость.

При невозможности организовать самотечную транспортировку возвратного потока существует возможность его принудительного возврата в общий опробованный поток при помощи насоса или аэролифта. В случае, если присоединение возвратного потока к общему потоку не является необходимым по технологическим причинам, он может быть направлен самотеком в поток другого продукта, особенно если присоединение к опробованному потоку самотеком невозможно. Примером может служить ситуация, когда при размещении станции опробования типа «СОП» в помещении хвостового пульпонасосного отделения обогатительной фабрики отсутствует возможность самотечной транспортировки возвратного потока в общий поток отвальных хвостов из-за отсутствия необходимого для этого свободного перепада уровня пульпы. В этом случае возвратный поток пробосократительного модуля направляется самотеком в дренажную систему (дренажную канаву или дренажный зумпф). Такой вариант возврата потока после станции опробования в настоящее время применен на нескольких обогатительных фабриках [3].

Накопленную пробу из пробоприемной емкости возможно подвергать принудительной транспортировке только при наличии системы доставки проб, исключаяющей изменение их состава [5, 50, 60, 63, 65, 70, 169].

Исходя из необходимости и возможности самотечной транспортировки проб и потоков сформулированы требования к взаимному расположению щелевого пробоотборника и пробосократительного модуля станции опробования, а также требования к расположению этого оборудования в пространстве. Основные из указанных требований приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Требования к расположению оборудования станции опробования пульпы типа «СОП»

Наименование оборудования	Основные требования к размещению	Расположение в пространстве относительно горизонтали
Пробоотборник щелевой типа «ПЩП»	Транспортная магистраль опробуемого продукта (трубопровод круглого сечения). Щелевой отсекатель ориентирован в вертикальной плоскости	под любым углом к горизонтали
Модуль пробосократительный типа «МП»	Независимо от транспортной магистрали опробуемого продукта в непосредственной близости от места установки щелевого пробоотборника ниже уровня расположения щелевого отсекаателя с учетом обеспечения самотечной транспортировки продуктов опробования	0° (горизонтально)

Расположение в пространстве пробосократительного модуля типа «МП» должно быть горизонтальным. На рисунке 7.6 показан пример расположения пробосократительного модуля на горизонтальной площадке.

Щелевой пробоотборник типа «ПЩП» может быть установлен в трубопровод под любым углом к горизонтали. Если трубопровод с опробуемым потоком расположен строго вертикально (поток направлен вертикально вниз или вертикально вверх), щелевой пробоотборник должен быть установлен на расстоянии не менее 0,3 м после точки изменения направления потока. Такой точкой могут быть, например, турбины насосов, изогнутые отводы, задвижки, тройники. На рисунке 7.7 показаны примеры расположения пробоотборников ПЩП-159-02К на вертикальных участках трубопроводов при подаче потока пульпы снизу вверх при помощи насоса и пробоотборника ПЩП-219-04К на вертикальном участке трубопровода при подаче пульпы сверху вниз самотеком.

На рисунке 7.8 показан щелевой пробоотборник ПЩП-219-02К, смонтированный на наклонном участке трубопровода, и щелевой пробоотборник ПЩП-273-04К, смонтированный на горизонтальном участке трубопровода.



Рисунок 7.6 – Расположение пробосократительного модуля типа «МП» на горизонтальной площадке

Взаимная компоновка оборудования станции опробования типа «СОП» на месте установки предполагает перемещение начальной пробы из щелевого пробоотборника в пробосократительный модуль самотеком. Это определяет минимальную высоту станции, при которой будет возможна самотечная транспортировка пробы. Для разных типоразмеров станции опробования минимальная высота определяется диаметром трубопровода, по которому транспортируется опробуемый поток пульпы. Минимальную высоту станции опробования типа «СОП» предлагается определять по следующей формуле:

$$h_{\text{соп}} = D_{\text{тр}} + h_{\text{мп}} + 360, \text{ мм} \quad (7.1)$$

где  $D_{\text{тр}}$  – наружный диаметр трубопровода, мм;  $h_{\text{мп}}$  – высота пробосократительного модуля типа «МП» соответствующей модификации, мм; «360» – высота запорно-распределительного устройства щелевого пробоотборника типа «ПЩП», мм.

Результаты определения минимальной высоты станции опробования пульпы типа «СОП-1П» и «СОП-2П» с пробосократительным модулем МП-04Р (высота 1000 мм) в зависимости от ее типоразмера приведены в таблице 7.2. Так как пробоотборники станции опробования пульпы типа «СОП-2П» располагаются независимо друг от друга, общая высота станции опробования с увеличением числа щелевых пробоотборников с одного до двух при расположении трубопроводов с опробуемыми потоками на одном уровне не возрастает.

*а**б*

Рисунок 7.7 – Расположение щелевых пробоотборников ПЩП-159-02К и ПЩП-219-04К на вертикальных участках трубопроводов: *а* – пробоотборники щелевые ПЩП-159-02К; *б* – пробоотборник щелевой ПЩП-219-04К в составе СОП-1-219-04П

*а**б*

Рисунок 7.8 – Расположение щелевого пробоотборника типа «ЩЦП» на трубопроводе: *а* – на наклонном участке трубопровода; *б* – на горизонтальном участке трубопровода

Таблица 7.2. – Зависимость минимальной высоты станции опробования типа «СОП» с пробосократительным модулем МП-04Р от типоразмера

Величина, мм	Типоразмер станции опробования							
	«СОП-1-89»	«СОП-1-159»	«СОП-1-219»	«СОП-1-273»	«СОП-1-325»	«СОП-1-377»	«СОП-1-426»	«СОП-1-820»
	«СОП-2-89»	«СОП-2-159»	«СОП-2-219»	«СОП-2-273»	«СОП-2-325»	«СОП-2-377»	«СОП-2-426»	«СОП-2-820»
Наружный диаметр трубопровода	89	159	219	273	325	377	426	820
Минимальная высота станции опробования	1450	1520	1580	1630	1690	1740	1790	2180

Наибольшее распространение на обогатительных фабриках получили станции опробования типоразмеров «СОП-1-159», «СОП-1-219», «СОП-1-273», «СОП-1-325», «СОП-1-426», «СОП-2-325» и «СОП-2-426». В таблице 7.3 приведены технические характеристики щелевых пробоотборников типа «ПЩП» наиболее распространенных типоразмеров [90, 91, 92, 111, 112]. На рисунке 7.9 в качестве примера показаны габаритные размеры пробоотборников ПЩП-159-02К и ПЩП-820-24К с воротниковыми присоединительными фланцами. Габариты пробоотборников указаны с учетом вертикального габарита запорно-распределительного устройства. Длина пробоотборников может варьироваться в зависимости от материала, из которого изготовлен трубопровод. В современной практике строительства и реконструкции обогатительных фабрик для транспортировки пульповых продуктов применяются трубопроводы из трех типов труб [5, 78, 173, 266, 300]:

- стальная труба по ГОСТ 8732-78;
- резиновая труба (производители-товарные марки: «ТЕХМАШ», «СК-Полимеры», «Компенз-Вибро», «Composit», «Linatex», «IMMUG»);
- труба ПНД (полиэтилен низкого давления).

Для монтажа щелевых пробоотборников типа «ПЩП» на указанные типы труб используются соответствующие присоединительные элементы:

- для стальной трубы – стальные плоские и воротниковые приварные фланцы (по ГОСТ 12820-80, 12821-80 [301, 302] или нестандартные);
- для резиновой трубы – обжимные разъемные фланцы, штуцеры типа «елочка» (в соответствии с размерами труб каждого из производителей);
- для трубы ПНД – обжимные фитинги, приварные муфты ПНД, торцевые прижимные фланцы.

На рисунке 7.10 приведены габаритные и установочные размеры пробосократительного модуля модификаций МП-04Р и МП-03Р.

На рисунке 7.11 показаны принципиальные схемы компоновки станций опробования пульпы типа «СОП-1П» и «СОП-2П» с одним и двумя щелевыми пробоотборниками соответственно. Расстояние между пробосократительным



модулем и щелевым пробоотборником на месте установки станции опробования может быть различным и составлять от 360 мм согласно формуле (7.1) до нескольких десятков метров.

На рисунках 7.12 и 7.13 представлены варианты размещения станции опробования типа «СОП-1П» на нескольких обогатительных фабриках: станции опробования СОП-1-273-04П и СОП-1-325-04П для опробования питания флотации (рисунок 4.12), и станции опробования СОП-1-219-02П для опробования флотационного концентрата перед операцией сгущения (рисунок 7.13). В продемонстрированном примере с опробованием флотационного концентрата станция опробования установлена на открытой площадке отделения сгущения и фильтрования обогатительной фабрики. Рядом с указанной станцией на двух трубопроводах смонтированы пробоотборники двух других станций опробования (на рисунке полностью не показаны).

Таблица 7.3 – Технические характеристики пробоотборника щелевого для пульпы типа «ПЩП»

Наименование параметра	Ед. изм.	Типоразмер				
		ПЩП-159-02К ПЩП-159-04К	ПЩП-219-02К ПЩП-219-04К	ПЩП-273-02К ПЩП-273-04К	ПЩП-325-04К ПЩП-325-08К	ПЩП-426-08К ПЩП-426-12К
Производительность опробуемого потока пульпы (не более): 200 400	м <sup>3</sup> /ч					
Крупность максимальная твёрдой фазы пульпы	мм	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Отношение Т/Ж в пульпе		до 1/1	до 1/1	до 1/1	до 1/1	до 1/1
Выход пробы (регулируемый)	%	3,0 – 4,0	2,5 – 3,0	2,0 – 2,5	1,5 – 2,0	1,0 – 1,5
Внешний диаметр трубопровода (куда устанавливается)	мм	159	219	273	325	426
Масса в сборе (не более)	кг	90	130	180	200	300
Габаритные размеры (в зависимости от типа присоединительного фланца):						
- длина	мм	580 – 680	660 – 810	690 – 870	770 – 970	950 – 1200
- ширина (диаметр)	мм	285 – 340	340 – 430	430 – 500	500 – 610	500 – 610
- высота	мм	580	630	720	780	780

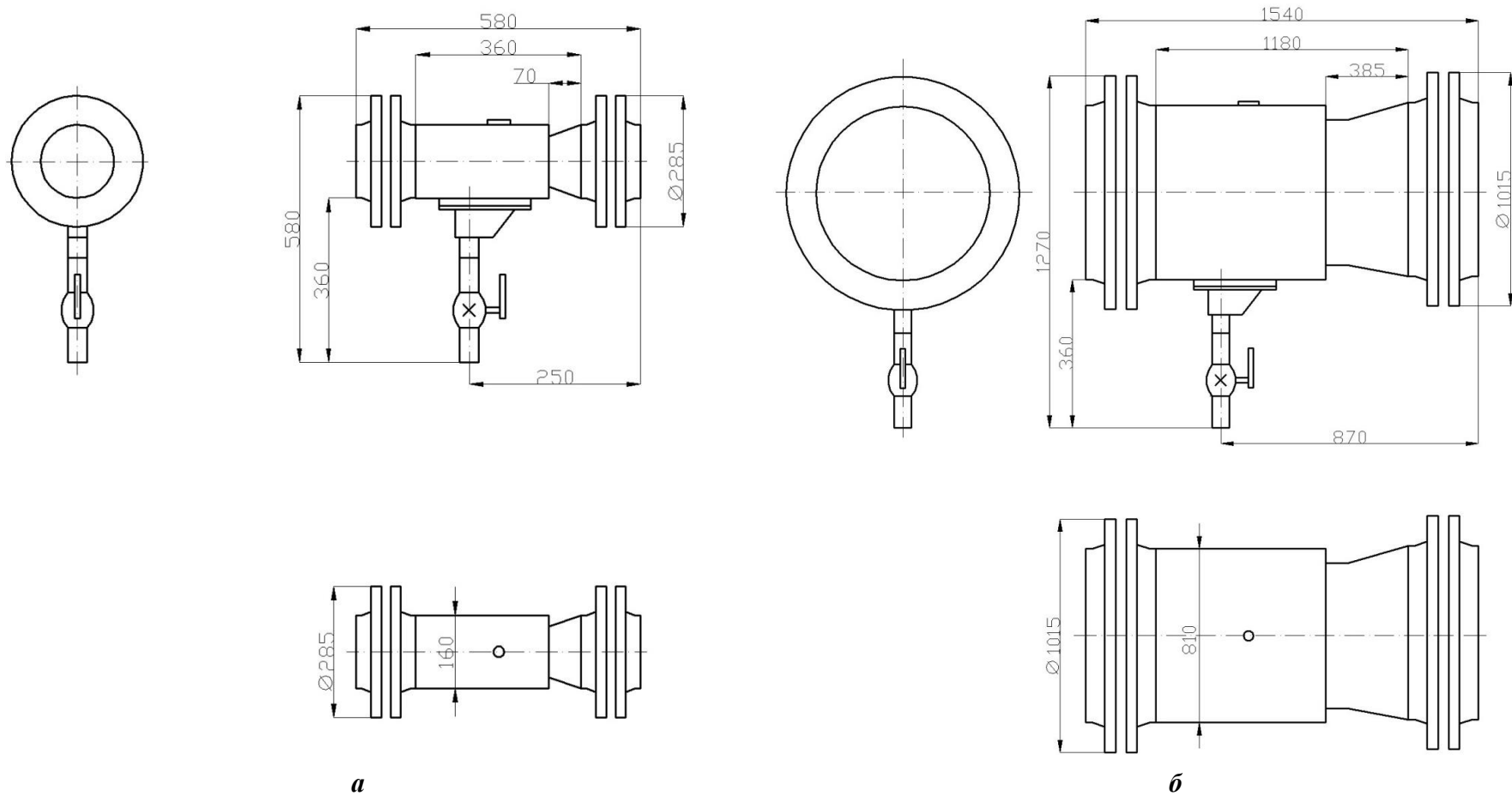


Рисунок 7.9 – Габаритные размеры пробоотборника типа «ПЦП»  
с воротниковыми присоединительными фланцами:  
*a* – ПЦП-159-02К; *б* – ПЦП-820-24К

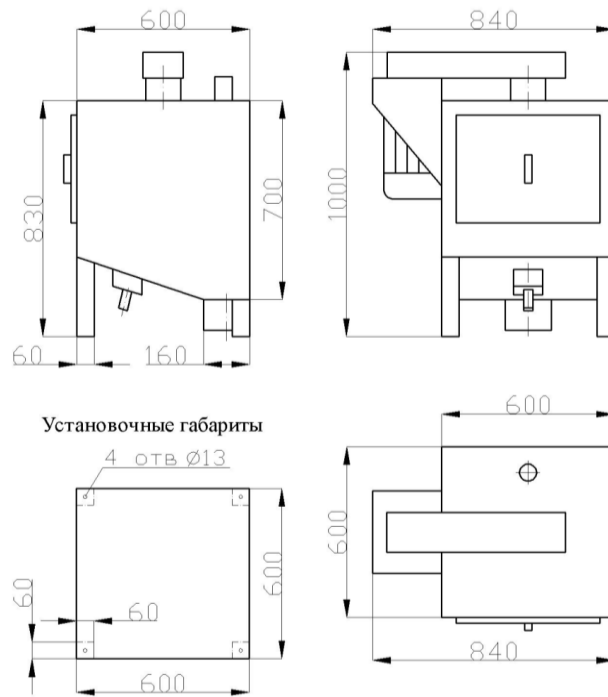


Рисунок 7.10 – Габаритные и установочные размеры пробосократительного модуля модификаций МП-04Р и МП-03Р

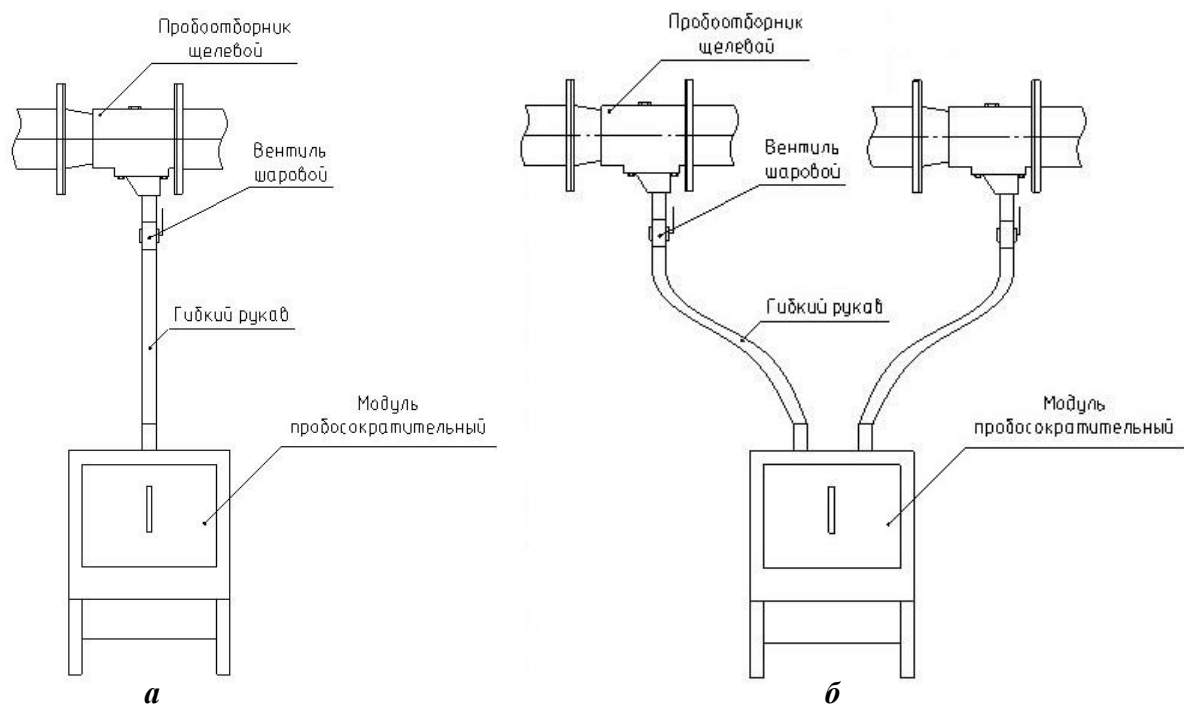
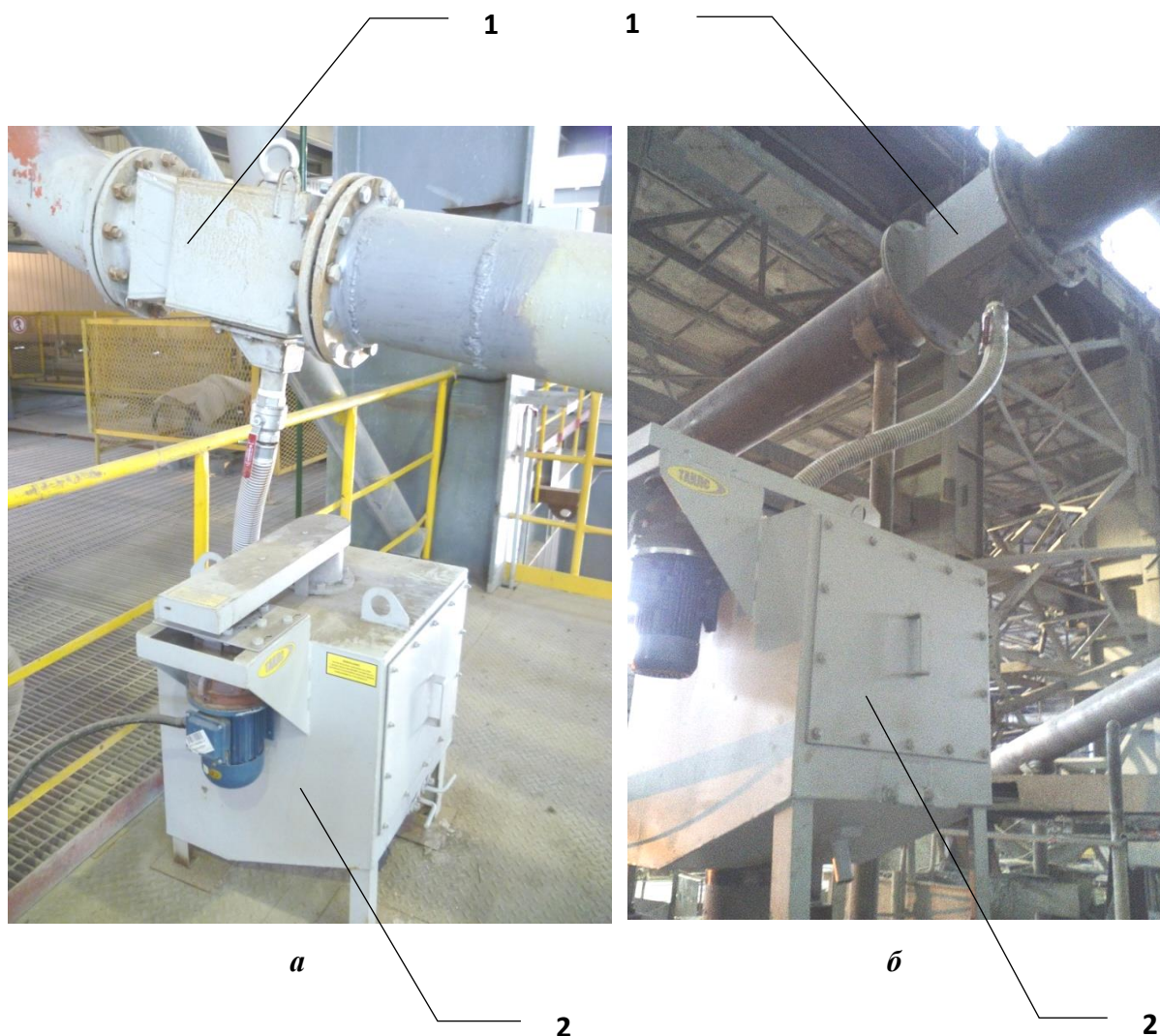


Рисунок 7.11 – Принципиальная схема компоновки станций опробования пульпы типа «СОП-1П» и «СОП-2П»: а – «СОП-1П»; б – «СОП-2П»



*a* – СОП-1-273-04П;

*б* – СОП-1-325-04П

Рисунок 7.12 – Станции опробования типа «СОП-1П» для опробования питания флотации с самотечной транспортировкой возвратного потока:

*1* – пробоотборник; *2* – модуль пробосократительный

Все представленные варианты размещения станций опробования предполагают самотечную транспортировку возвратного потока. На рисунке 7.14 показан вариант размещения станции опробования СОП-1-325-08П для опробования отвальных хвостов с принудительным удалением возвратного продукта через зумпф дренажного насоса. Принудительное удаление возвратного продукта станций опробования применяется на нескольких предприятиях, в частности, на обогатительной фабрике АО «Ново-Широкинский рудник», Пластовской ЗИФ ОАО «Южуралзолото Группа Компаний», ПАО «Гайский ГОК».

Для опробования сыпучих продуктов, перемещаемых ленточными конвейерами, применяются дисковые сократители типа «СОД-2», используемые либо для отбора пробы от всего потока опробуемого продукта (аналог способа перегрузки), либо для сокращения начальной пробы, сформированной первичным пробоотбирающим устройством [217, 224, 225, 226, 248]. Первичные

пробоотбирающие устройства могут иметь различную конструкцию и принцип действия [5, 32, 43, 69, 70, 71, 85, 93, 95, 262].



Рисунок 7.13 – Станция опробования СОП-1-219-02П для опробования концентрата флотации с самотечной транспортировкой возвратного потока:  
 1 – модуль пробосократительный; 2 – пробоотборник;  
 3 – пульт оператора станции опробования; 4 – трубопровод для самотечной транспортировки возвратного потока

Первичные пробоотбирающие устройства отличаются по следующим основным параметрам:

- способ пересечения потока опробуемого продукта (пересечение периодическое поперечное, непрерывное продольно-поперечное, непрерывное и периодическое продольное);
- вид движения пробоотсекающего устройства (возвратно-поступательное, поступательное, возвратно-вращательное, вращательное);
- место отбора пробы относительно ленты конвейера (на поверхности ленты, после разгрузки с ленты от свободно падающего потока).

В качестве первичных пробоотбирающих устройств для отбора проб с поверхности ленты конвейера используются скреперные и маятниковые пробоотборники. Для отбора проб после разгрузки с ленты конвейера применяются ковшовые, лотковые и секторные пробоотборники.

Ниже показан пример использования дискового сократителя СОД-2-600 для опробования отфильтрованного медного концентрата после разгрузки с ленты конвейера. Принципиальное компоновочное решение по установке дисковых

сократителей СОД-2-600 в загрузочных узлах склада готовой продукции обогатительной фабрики показано на рисунке 7.15.



Рисунок 7.14 – Станция опробования СОП-1-325-08П для опробования отвальных хвостов с принудительной транспортировкой возвратного потока:  
 1 – модуль пробосократительный; 2 – зумпф дренажного насоса

При выборе оборудования для опробования медного концентрата учтены факторы и обстоятельства, напрямую влияющие на применимость и функционирование дискового сократителя:

- свойства опробуемого медного концентрата;
- ограниченное пространство для размещения;
- конструкционная и технологическая совместимость с имеющимся оборудованием.

Оптимальным местом размещения дисковых сократителей являются загрузочные узлы склада готовой продукции обогатительной фабрики, в которых выполняется загрузка медного концентрата в контейнеры типа «МКР». Медный концентрат подается в загрузочные узлы при помощи ленточных конвейеров после выгрузки из фильтр-прессов. Дисковые сократители монтируются в обоих загрузочных узлах на месте существующих загрузочных желобов. В каждом загрузочном узле устанавливается отдельный дисковый сократитель, управляемый с отдельного пульта оператора. Компонировочное решение с двумя независимыми друг от друга сократителями обеспечивает прохождение всего объема медного концентрата через рабочую камеру дискового сократителя перед загрузкой в контейнер. Сокращенная проба медного концентрата выводится из корпуса дискового сократителя через отводящий желоб. Оба дисковых сократителя устанавливаются в загрузочные узлы на одном уровне по высоте и в плане идентично относительно оси барабана ленточных конвейеров.

Установочная рама каждого дискового сократителя закрепляется на внешних конструкциях под ленточным конвейером при помощи болтов. Элементы конструкции существующего загрузочного желоба крепятся к корпусу дискового сократителя через ответные присоединительные фланцы также при помощи болтов. Такой способ крепления позволяет при необходимости полностью демонтировать оборудование.

Компоновка и пространственное расположение основных узлов дискового сократителя являются индивидуальными и выполняются исходя из особенностей места установки, требований к эксплуатации, текущему обслуживанию и ремонту. Общее устройство и габаритные размеры дискового сократителя СОД-2-600, предназначенного для установки в загрузочном узле, представлены на рисунке 7.16.

Режим работы дисковых сократителей соответствует режиму работы фильтр-прессов и ленточных конвейеров, перемещающих отфильтрованный медный концентрат (кек фильтр-пресса) в загрузочные узлы. Дисковый сократитель, установленный в загрузочном узле, включается и выключается синхронно с ленточным конвейером. С учетом того, что ленточный конвейер имеет запас по времени работы до начала разгрузки фильтр-пресса и после его разгрузки, весь загружаемый в контейнер медный концентрат пройдет через работающий дисковый сократитель. В результате представительная сокращенная проба будет получена от всего объема перемещенного ленточным конвейером медного концентрата.

Примером совмещения дискового сократителя с первичным пробоотбирающим устройством является конвейерная станция опробования с верхним расположением типа «СО-КНВ» с дисковым сократителем и вертикальным конвейерным скреперным пробоотборником (рисунок 7.17). Указанная станция используется для опробования отфильтрованного флотационного и гравитационного концентрата, а также сыпучих продуктов крупностью менее 3 мм на ленте конвейера. В таблице 7.4 приведены основные технические характеристики станции СО-800КНВ для опробования отфильтрованного концентрата на ленте конвейера шириной 800 мм.

Станция опробования типа СО-800КНВ состоит из вертикального скреперного пробоотборника ПРВ-2 и дискового сократителя СОД-2-100В. Управление электрическими приводами оборудования станции опробования выполняется через пульт оператора с частотным преобразователем, который необходим для регулирования частоты вращения отсекающего пробоотборника ПРВ-2 для ее синхронизации со скоростью движения ленты конвейера. Станция опробования монтируется над ленточным конвейером, транспортирующим опробуемый продукт. Пробоотборник ПРВ-2 при помощи установочной рамы смонтирован над лентой конвейера, дисковый сократитель СОД-2-100В размещается рядом с пробоотборником с учетом обеспечения беспрепятственной самотечной транспортировки отобранных точечных проб, сокращенной пробы и возвратного продукта.



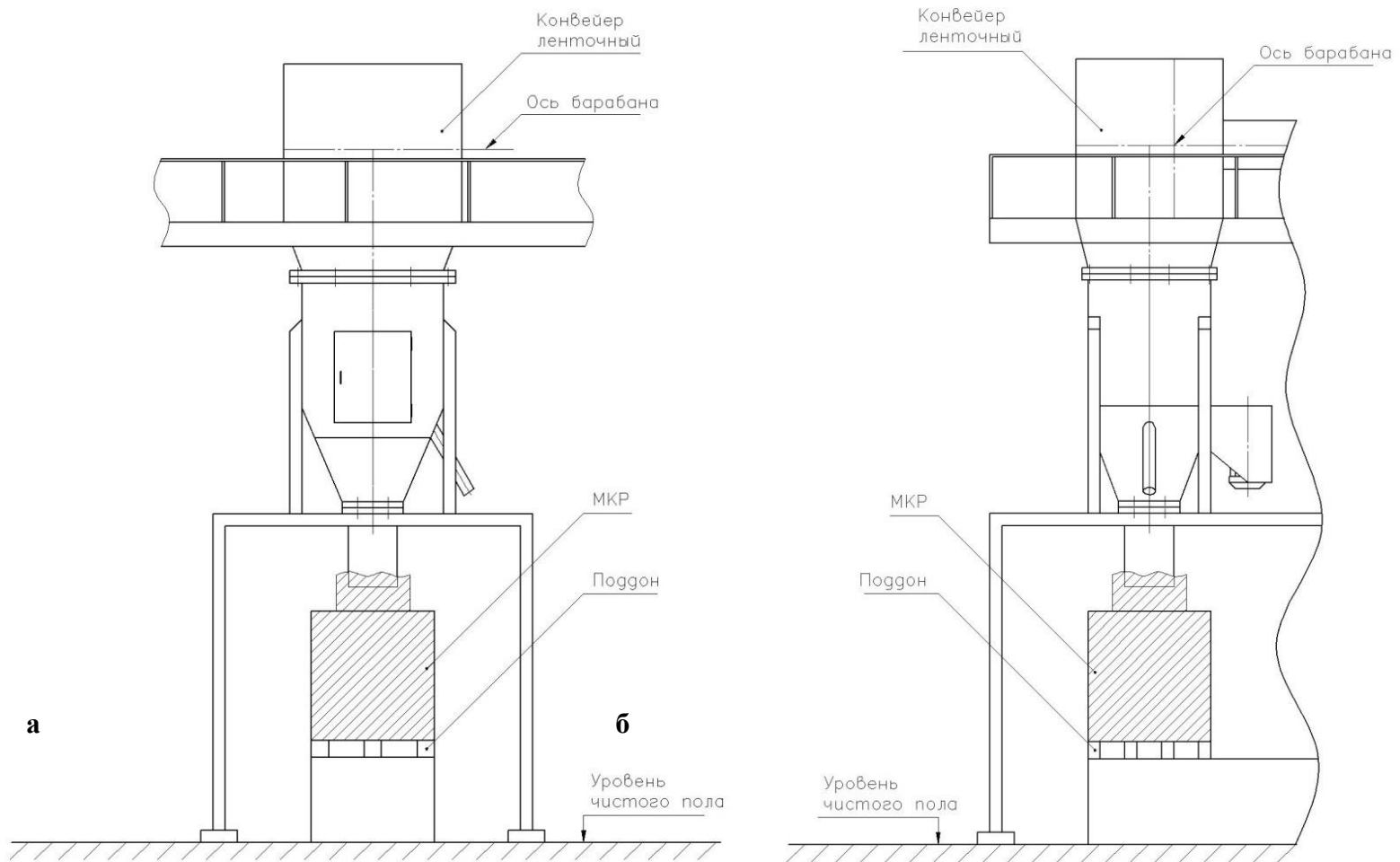


Рисунок 7.15 – Принципиальное компоновочное решение по установке дисковых сократителей СОД-2-600П в загрузочных узлах на складе готовой продукции обогатительной фабрики:  
*а – вид спереди; б – вид сбоку*

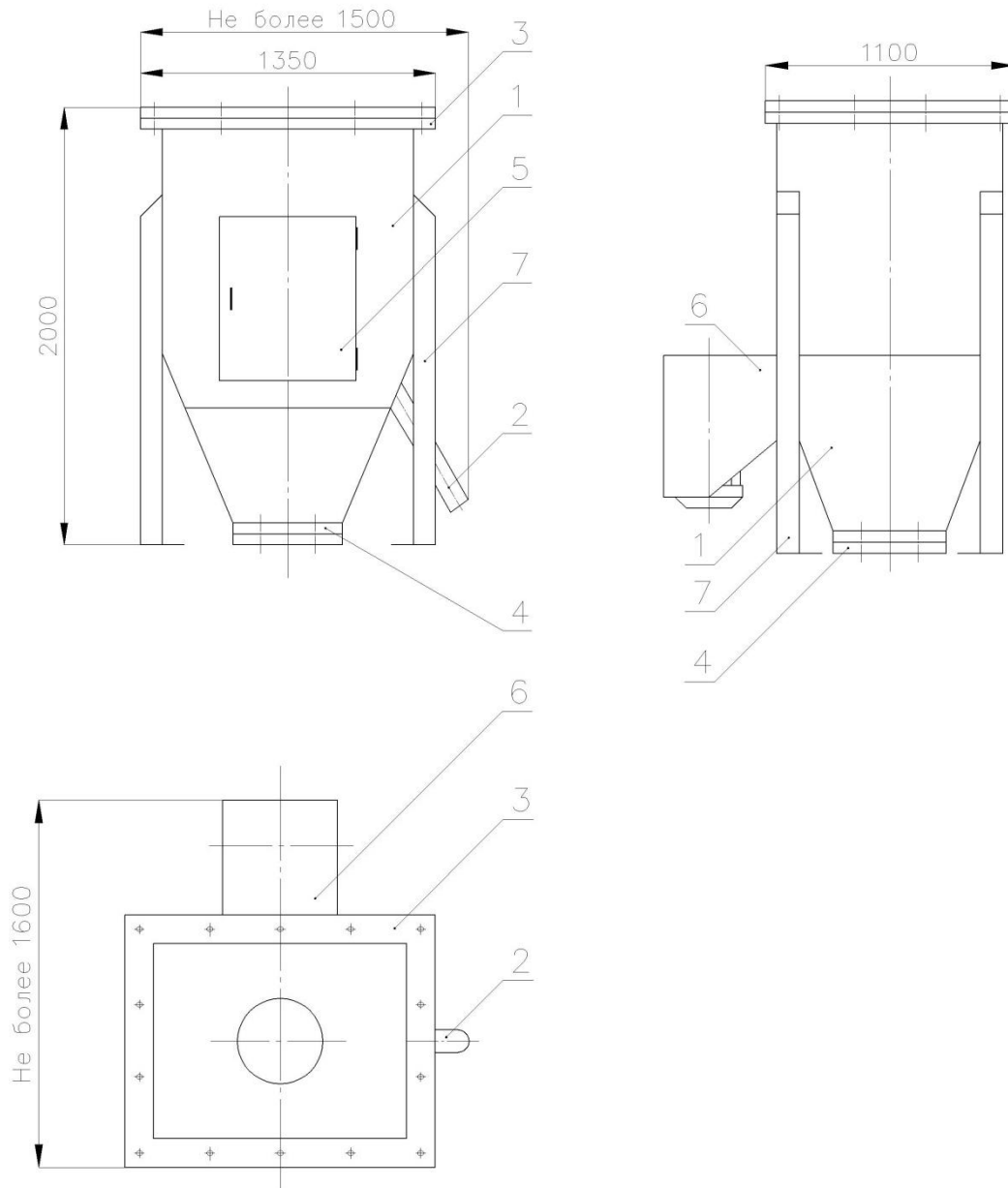


Рисунок 7.16 – Принципиальная компоновка и габаритные размеры дискового сократителя СОД-2-600 для установки в загрузочном узле на складе готовой продукции обогатительной фабрики :

1 – корпус, 2 – отводящий желоб сокращенной пробы;  
 3 – соединительные фланцы загрузочной горловины;  
 4 – соединительные фланцы разгрузочного желоба;  
 5 – люк; 6 – привод; 7 – рама установочная

Все узлы и конструктивные элементы оборудования станции опробования типа «СО-КНВ» разрабатываются и изготавливаются по индивидуальному проекту. Это позволяет сократить затраты на монтаж и эксплуатацию указанной станции опробования на обогатительных фабриках.

Таблица 7.4 – Основные технические характеристики станции опробования СО-800КНВ для опробования отфильтрованного концентрата

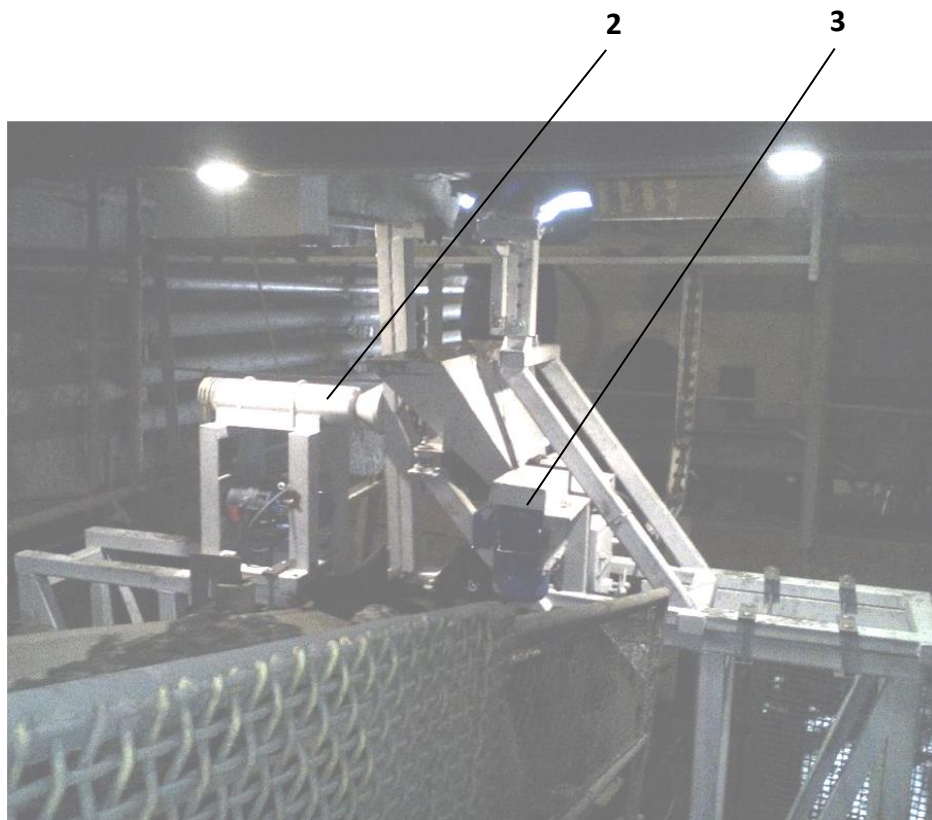
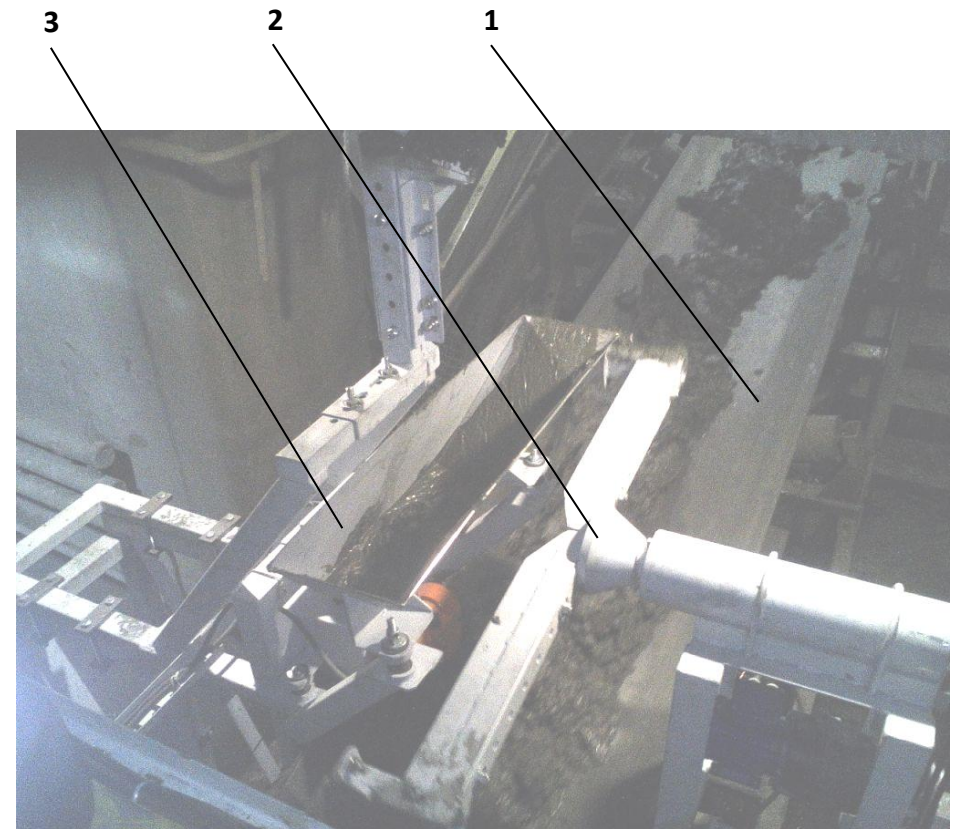
Наименование параметра	Единицы измерения	Значение
Технологические характеристики:		
Количество операций отбора (сокращения) пробы		2
Производительность опробуемого потока (перемещаемого по конвейеру)	м <sup>3</sup> /ч	не более 25
Количество отбираемых точечных проб в час		330
Разность скоростей ленты конвейера и отсекателя в период отбора точечной пробы (линейная)	м/с	не более 0,05
Диапазон регулирования выхода сокращенной пробы	%	(2 – 12)х10 <sup>-4</sup>
Отклонение массы последовательных сокращенных проб (за час)	%	не более 15
Крупность частиц опробуемого материала	мм	не более 1,0
Влажность опробуемого материала	%	до 14
Ширина ленты конвейера	мм	800
Угол наклона конвейера по ходу движения ленты	град.	15
Технические характеристики:		
Суммарная мощность приводной части:	Вт	0,75
Напряжение	В	380
Частота	Гц	50
Масса в сборе	кг	не более 600
Габаритные размеры (не более):		
Длина	мм	1 400
Ширина	мм	1 500
Высота (от ленты конвейера)	мм	1 800

Станция опробования типа «СО-КНВ» применяется, в частности, для опробования отфильтрованного медного концентрата на обогатительных фабриках Филиала «Производство полиметаллов» АО «Уралэлектромедь», АО «Учалинский ГОК» и АО «Бурибаевский ГОК».

Дисковыми сократителями могут быть укомплектованы многостадийные линии пробоподготовки, в которых предусмотрено последовательное сокращение пробы с уменьшением ее крупности.

На рисунке 7.18 показана аппаратная линия для отбора и подготовки проб дробленой сильвинитовой руды, перемещаемой ленточным конвейером [303, 304, 305]. Аппаратная линия предусматривает отбор начальной пробы крупностью минус 20 мм, сокращение начальной пробы в дисковом сократителе СОД-2-300В-П2 в ее исходной крупности, дробление сокращенной пробы до крупности минус 3 мм и ее последующее сокращение в дисковом сократителе СОД-2-100В. Технологическая схема указанной аппаратной линии приведена на рисунке 7.19.

Работа оборудования аппаратной линии носит периодический характер. Каждая единица оборудования подлежит периодическому запуску и остановке в зависимости от заданного алгоритма работы.

*а**б*

а – общий вид;  
б – вид сверху

Рисунок 7.17 – Аппаратная линия с дисковым сократителем и вращающимся пробоотборником для опробования отфильтрованного концентрата на ленте конвейера:  
*1 – ленточный конвейер; 2 – вертикальный конвейерный скреперный пробоотборник;  
3 – дисковый сократитель*

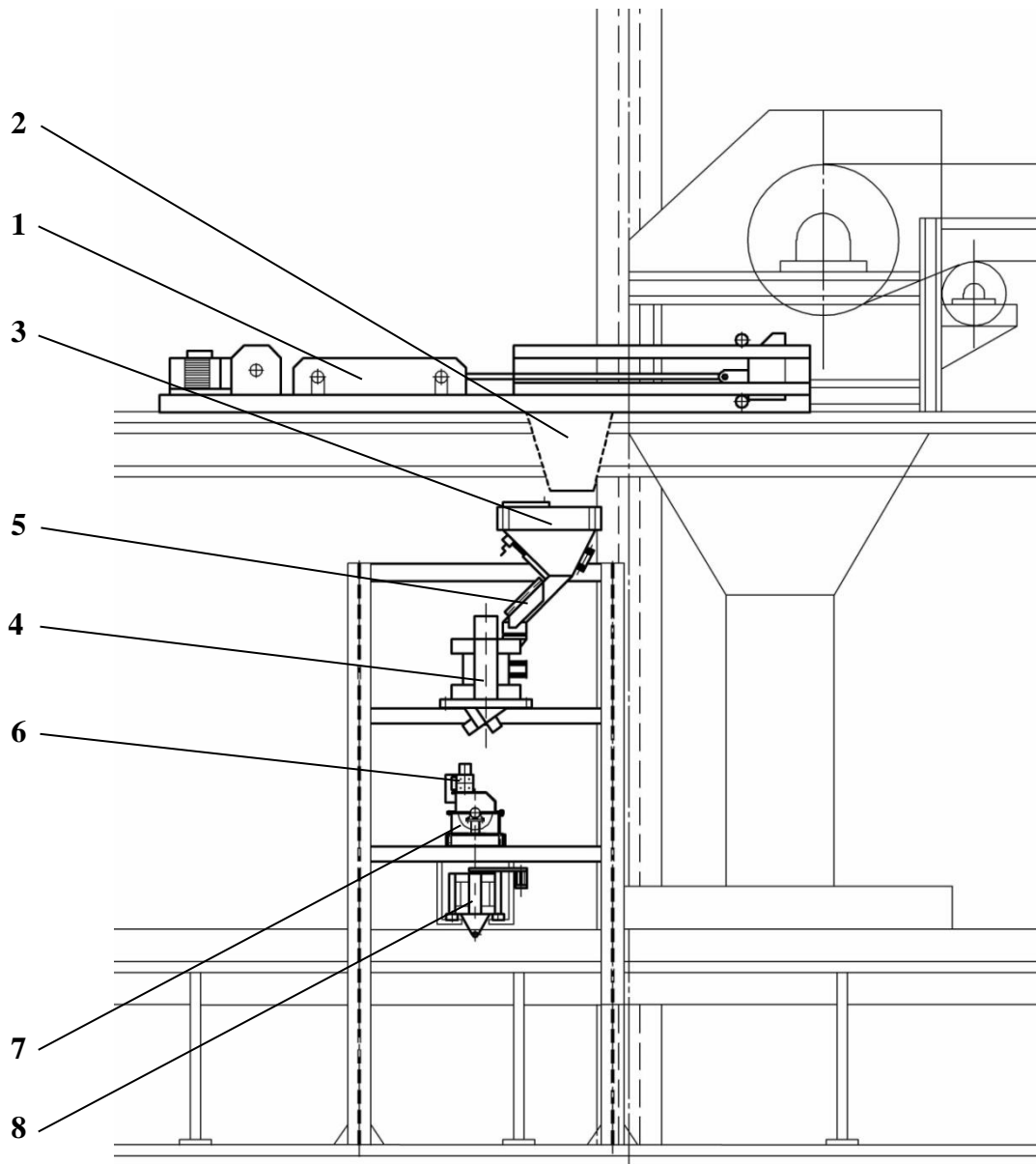


Рисунок 7.18 – Аппаратная линия для отбора и подготовки проб дробленной сильвинитовой руды:

- 1 – пробоотборник; 2 – приемная воронка с решеткой; 3 – бункер-питатель;  
 4 – дисковый сокротитель СОД-2-300В-П2; 5 – верхний металлоуловитель;  
 6 – нижний металлоуловитель; 7 – дезинтегратор ударно-роторный;  
 8 – дисковый сокротитель СОД-2-100В

Стандартный цикл работы аппаратной линии предполагает отбор и обработку одной точечной пробы дробленной руды, отобранной от потока. При запуске аппаратной линии составляющее ее оборудование работает по стандартной схеме, описанной ниже.

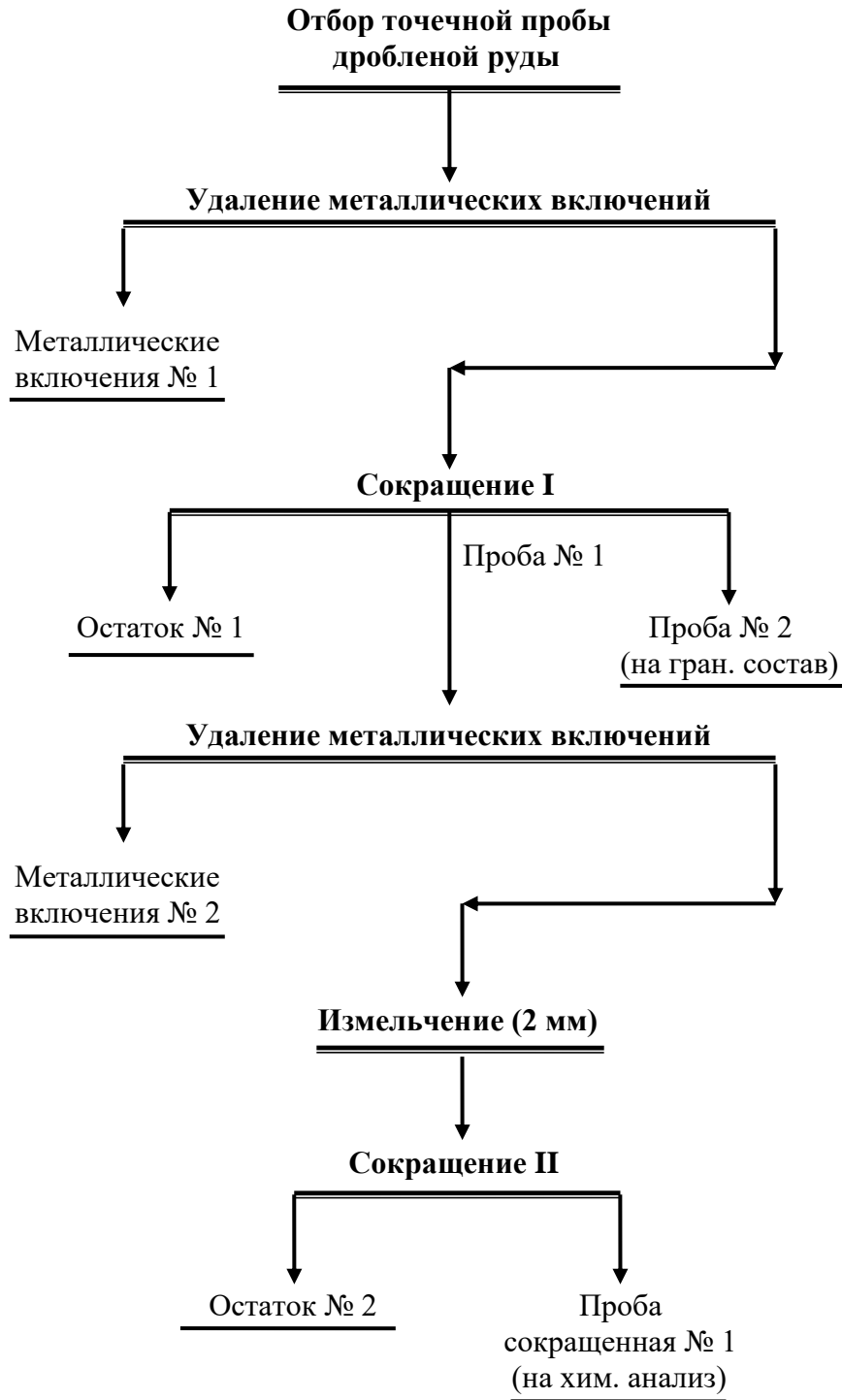


Рисунок 7.19 – Технологическая схема аппаратной линии для отбора и подготовки проб дробленой селвинитовой руды

После включения пробоотборника 1 выполняется цикл отбора точечной пробы: пробоотборный ковш совершает перемещение на расстояние рабочего хода в прямом и обратном направлениях, при этом дважды пересекая поток дробленой руды, разгружающийся с ленты верхнего конвейера. За один цикл работы от потока отбирается точечная проба дробленой руды, состоящая из двух порций. Пробоотборный ковш начинает движение из исходного положения и в этом же положении останавливается для выгрузки точечной пробы.

Материал пробы из пробоотборного ковша через приемную воронку с решеткой 2 направляется в бункер-питатель 3. Из бункера-питателя через шиберную заслонку и разгрузочный лоток с заданной производительностью материал пробы подается в дисковый сократитель СОД-2-300В-П2 (4). При прохождении по разгрузочному лотку материал попадает в зону действия верхнего металлоуловителя 5. Под действием магнитного поля магнитные металлические включения притягиваются к поддону металлоуловителя и удерживаются в таком положении до момента разгрузки. Разгрузка металлических включений производится за счет выдвигания поддона из рабочей зоны металлоуловителя. Металлические включения, перемещенные из зоны действия магнитного поля, разгружаются в сборный контейнер. Разгрузка металлических включений из металлоуловителя производится с установленной периодичностью путем перемещения поддона вручную при помощи рычага. Для беспрепятственного прохождения материала через бункер-питатель и недопущения налипания соляного конденсата на стенки и рабочие поверхности применяется виброактивация корпуса бункера и разгрузочного лотка. негабаритные включения и посторонние предметы, задержанные решеткой, удаляются с ее поверхности через люк в стенке приемной воронки вручную.

При прохождении через сократитель СОД-2-300В-П2 материал точечной пробы делится на три продукта:

- проба № 1 – подается в ударно-роторный дезинтегратор 7 на измельчение;
- проба № 2 – разгружается в пробоприемный контейнер (для формирования лабораторной пробы с целью определения гранулометрического состава, на рисунке 7.18 не показан);
- остаток № 1 – разгружается на ленту нижнего конвейера.

Выход пробы № 1 и пробы № 2 может регулироваться в зависимости от объема отбираемой точечной пробы и требуемого количества продуктов сокращения. Проба № 1 после сократителя СОД-2-300В-П2 измельчается в дезинтеграторе, и в измельченном виде поступает на дисковый сократитель СОД-2-100В. При прохождении через загрузочную воронку дезинтегратора материал пробы № 1 попадает в зону действия нижнего металлоуловителя 6. Устройство и принцип действия нижнего металлоуловителя аналогичны указанным выше для верхнего металлоуловителя.

Измельченный материал пробы № 1 при прохождении через дисковый сократитель СОД-2-100В (8) делится на два продукта:

- проба сокращенная № 1 – разгружается в пробоприемный контейнер (на рисунке 7.18 не показан);
- остаток № 2 – разгружается на ленту нижнего конвейера.

Автоматическая система управления обеспечивает возможность работы аппаратной линии в автоматическом (автономном) режиме, полуавтоматическом режиме и ручном режиме в соответствии с заданным алгоритмом [50, 96, 305, 306].

Автоматическая система управления аппаратной линии имеет двухуровневую иерархическую структуру. Нижний уровень включает в себя следующее «полевое» оборудование:

- индуктивные датчики для контроля положения элементов оборудования;
- контакты пускателей электроприводов;
- кнопки на пультах управления;
- средства звуковой и световой сигнализации;
- вспомогательные элементы.

На нижнем уровне происходит реализация нескольких функций:

- формирование дискретных сигналов о состоянии процесса и оборудования посредством работы дискретных датчиков;
- управление технологическим процессом с помощью выходных дискретных сигналов, выдаваемых в электротехническую часть для управления приводами;
- управление звуковой и световой сигнализацией.

Верхний уровень строится на базе программируемого контроллера, панели оператора и пульта управления.

На верхнем уровне производятся следующие действия:

- обработка сигналов, полученных от первичных датчиков;
- выдача сигналов на управление процессом по заданным в программе контроллера алгоритмам;
- выполнение функций автоматики безопасности;
- управление сигнализацией.

Панель оператора выполняет функции визуализации процесса работы аппаратной линии.

Управление оборудованием аппаратной линии может производиться в трех режимах:

- в автоматическом режиме;
- в полуавтоматическом режиме;
- в ручном режиме.

Под «автоматическим» режимом понимается автоматический режим управления аппаратной линией по заданным в программе алгоритмам с контроллера. Продолжительность и периодичность цикла отбора пробы устанавливаются вручную с пульта управления.

Под «полуавтоматическим» режимом понимается ручной запуск кнопкой с пульта управления одного цикла отбора и подготовки пробы с заданной продолжительностью при действии режима работы «автоматический». Заданная периодичность автоматического включения цикла отбора и подготовки пробы при этом не нарушается, факт пуска единичного цикла не является новой точкой отсчета для заданной периодичности.

Под «ручным» режимом понимается режим управления приводами аппаратной линии с пульта управления посредством двойных кнопок «пуск/стоп» без участия контроллера.



Переключение между «ручным» и «автоматическим» режимами производится с пульта управления при помощи переключателя.

В «автоматическом» режиме управление вибрационными приводами (на бункере-питателе и дисковых сократителях) может осуществляться в двух режимах:

- «вибропривод автомат»;
- «вибропривод ручной».

Под «вибропривод автомат» понимается автоматический режим управления по заданным в программе алгоритмам с контроллера.

Под «вибропривод ручной» понимается возможность управления вибрационными приводами в режиме «пуск/стоп» с пульта управления.

Переключение между режимами «вибропривод автомат» и «вибропривод ручной» также производится с пульта управления.

## **7.2. Результаты промышленного внедрения высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб**

### **7.2.1. Определение и устранение влияния вероятной систематической погрешности на результат определения массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения**

Большинство продуктов на обогатительных фабриках представляют собой технологические потоки в сыпучем или пульпообразном состоянии. ВСП возникает при периодическом отборе проб от технологических потоков способом поперечного пересечения. Это объясняется пропуском появляющихся в интервалах между отбором точечных проб резких изменений массовой доли ценного компонента опробуемого потока, носящих характер локальных экстремальных значений. Особенность появления локальных экстремальных значений состоит в том, что изменение массовой доли направлено в одну сторону: на хвостах обогащения – в сторону увеличения массовой доли, на богатых концентратах – в сторону уменьшения массовой доли, на исходных рудах – преимущественно в сторону увеличения массовой доли. При этом в случае возникновения локального изменения средняя массовая доля в объединенной пробе хвостов и, как правило, руды имеет тенденцию к занижению, а в богатых концентратах – к завышению.

Согласно действующим нормативным документам на отбор и подготовку проб, все методические и технические решения в части опробования продуктов обогащения направлены на исключение из результата опробования систематической погрешности и обеспечение допустимого значения случайной погрешности [15, 16, 19, 21, 24]. Для этого в нормативной документации установлены основные положения процедуры опробования:

- порядок выполнения операций опробования для различных по характеристикам продуктов;
- перечень применяемых способов подготовки (обработки) проб;

- перечень используемого оборудования, инструментов и приспособлений;
- порядок учета, хранения и внутреннего движения опробованных продуктов и полученных проб.

Роль ВСП в части влияния на результат опробования может оказаться значима, и возникновение ВСП погрешности может проявиться в виде ряда необъяснимых обстоятельств:

- появление излишков или недостатков контролируемых компонентов;
- появление больших необъяснимых невязок товарных балансов (в том числе положительных);
- расхождение результатов опробования одних и тех же продуктов с различной частотой отбора точечных проб.

Несмотря на многочисленные косвенные свидетельства важной роли ВСП, ее величина до недавнего времени не могла быть достоверно определена экспериментально. Такая возможность появилась только после внедрения в практику опробования нового оборудования, реализующего высокочастотный комбинированный способ отбора проб, снижающий случайную погрешность результата опробования и исключая влияние на него ВСП. Характерной особенностью высокочастотного комбинированного способа отбора проб является учет всех возможных локальных изменений массовой доли ценного компонента. Возможность экспериментального определения наличия и величины ВСП появляется, если на одном и том же технологическом потоке выполнять отбор проб способом поперечного пересечения и высокочастотным комбинированным способом.

На сегодняшний день имеются результаты экспериментального определения величины ВСП для некоторых обогатительных фабрик, использующих в своих системах контроля качества высокочастотный комбинированный способ отбора проб [3, 102, 133, 134, 135, 172, 206, 208, 237].

На обогатительной фабрике, обогащающей медно-цинковую руду, на отвальных хвостах выполнялся отбор проб вручную (способ поперечного пересечения, одна проба в 30 минут) и при помощи СОП-1-219-04П [134]. По результатам опробования за месяц было установлено, что при ручном отборе проб средняя массовая доля меди и цинка по 1300 пробам в хвостах составила 0,279 % и 0,664 % соответственно. По результатам работы СОП-1-219-04П массовая доля меди в хвостах составила 0,304 %, цинка – 0,724 %. В итоге величина абсолютного отклонения по меди составила +0,025 % и по цинку +0,600 %, что составляет по меди +8,22 и по цинку +8,28 % относительных. Полученные значения также можно считать величиной ВСП для результата опробования отвальных хвостов.

В рассмотренных примерах по золоту, меди и цинку экспериментально установлен факт занижения массовой доли при периодическом отборе проб для бедных продуктов (отвальных хвостов). Полученное занижение за месяц достаточно велико (от 5 до 8 %). Это означает, что использование результатов опробования, полученных без применения высокочастотного комбинированного способа отбора проб, неизбежно сказывается на величине невязки товарного

баланса и приводит к появлению необъяснимых недостатков или избытков ценных компонентов в концентратах.

### **7.2.2. Устранение влияния вероятной систематической погрешности на результат опробования в схеме «поставщик-потребитель»**

Существование ВСП может быть продемонстрировано на характерном примере совместного опробования партий сырья, содержащего благородные металлы [57, 84, 135, 143, 165, 171, 229, 281, 307, 308, 309, 310]. Наиболее характерно влияние ВСП на результат товарного опробования [3, 6, 46, 102], когда одна и та же партия подвергается выходному опробованию у поставщика и входному опробованию у потребителя. Как правило, ВСП проявляет себя при опробовании самых бедных и самых богатых продуктов [6, 46, 172]. В результате действия ВСП при опробовании относительно бедных продуктов массовая доля ценного компонента в них занижается, при опробовании относительно богатых продуктов массовая доля ценного компонента в них завышается. Так как у поставщика и потребителя опробуется один и тот же продукт, ВСП поставщика и потребителя будут иметь один и тот же знак. Это означает, что анализом разности результатов последовательного опробования ВСП не может быть обнаружена. Обнаружение и количественная оценка ВСП в схеме «поставщик-потребитель» возможна при исключении ее влияния на один из результатов опробования при условии, что случайная погрешность этого результата будет заведомо малой.

Современный уровень развития техники и технологии опробования позволяет использовать для отбора проб высокочастотный комбинированный способ, снижающий случайную погрешность результата и исключаящий влияние ВСП. Существующая статистика опробования сырья, содержащего благородные металлы, дает возможность количественного определения ВСП.

В результате опробования 16 партий катализатора АПК-0,5 у поставщика путем отбора точечных проб из объема каждого тарного места установлены значения массовой доли палладия в каждой из партий, составившие от 0,41 до 0,50 %, при среднем значении массовой доли по всем партиям 0,47 % [135, 150, 217]. При опробовании тех же партий катализатора у потребителя с использованием дискового сократителя типа «СОД-2», реализующего высокочастотный комбинированный способ отбора проб, массовая доля палладия по 16 партиям составила от 0,47 до 0,56 % при средней массовой доле по партиям 0,51 %. Сравнительные данные по опробованию катализатора АПК-0,5 в схеме «поставщик-потребитель» приведены в таблице 7.4.

Очевидно, что результаты опробования поставщика при наличии ВСП, и результаты опробования потребителя при отсутствии ВСП характеризуются систематическим занижением массовой доли палладия у поставщика, составляющим 0,04 % (в 94 % поставленных партий). Важно заметить, что в предыдущие периоды поставок партий указанного катализатора у поставщика и потребителя опробование выполнялось только путем отбора точечных проб из

объема тарного места. При таком варианте опробования постоянного занижения массовой доли палладия у поставщика не наблюдалось: занижение у поставщика было установлено для 45 % поставленных партий.

Таблица 7.4 – Сравнительные результаты опробования катализатора АПК-0,5 различными способами

Номер партии	Массовая доля палладия, %		Разность массовой доли палладия, %	
	отбор точечных проб из тарного места	отбор точечных проб выс. комбинир. способом	абсолютная	относительная
1	0,41	0,51	-0,10	-19,61
2	0,48	0,50	-0,02	-4,00
3	0,48	0,49	-0,01	-2,04
4	0,47	0,50	-0,03	-6,00
5	0,43	0,49	-0,06	-12,24
6	0,49	0,54	-0,05	-9,26
7	0,48	0,48	0	0
8	0,48	0,49	-0,01	-2,04
9	0,47	0,53	-0,06	-11,32
10	0,47	0,51	-0,04	-7,84
11	0,50	0,51	-0,01	-1,96
12	0,46	0,47	-0,01	-2,13
13	0,47	0,56	-0,09	-16,07
14	0,48	0,54	-0,06	-11,11
15	0,45	0,52	-0,07	-13,46
16	0,43	0,51	-0,08	-15,69
Среднее	0,47	0,51	-0,04	-8,43

В случае для опробования 16 партий катализатора величина занижения массовой доли палладия у поставщика составила 8,43 % относительных. При этом рассчитанная величина относительной случайной погрешности опробования каждой из партий катализатора, исходя из числа точечных проб, составляет не более 1,93 %. На этом основании можно утверждать, что большая часть величины занижения массовой доли палладия (до 8,20 % относительных) вызвана действием ВСП.

В таблице 7.5 приведены сравнительные результаты опробования партий катализатора риформинга. По результатам опробования у поставщика массовая доля платины в различных партиях катализатора составила от 0,2023 до 0,2607 % при среднем значении по всем партиям, равным 0,2330 %. По результатам опробования у потребителя массовая доля платины по партиям составила от 0,2370 до 0,2700 % при средней 0,2450 %. При этом по всем без исключения партиям у поставщика наблюдается занижение массовой доли платины, составляющее по сумме партий 0,0120 % (4,90 % относительных).

Таблица 7.5 – Сравнительные результаты опробования катализатора риформинга

Номер партии	Массовая доля платины, %		Разность массовой доли платины, %	
	отбор точечных проб из тарного места	отбор точечных проб выс. комбинир. способом	абсолютная	относительная
1	0,2297	0,2440	-0,0143	-5,86
2	0,2294	0,2370	-0,0076	-3,21
3	0,2344	0,2450	-0,0106	-4,33
4	0,2329	0,2390	-0,0061	-2,55
5	0,2359	0,2420	-0,0061	-2,52
6	0,2335	0,2420	-0,0085	-3,51
7	0,2345	0,2430	-0,0085	-3,50
8	0,2362	0,2380	-0,0018	-0,76
9	0,2327	0,2410	-0,0083	-3,44
10	0,2320	0,2430	-0,0110	-4,53
11	0,2351	0,2430	-0,0079	-3,25
12	0,2023	0,2580	-0,0557	-21,59
13	0,2607	0,2700	-0,0093	-3,44
Среднее	0,2330	0,2450	-0,0120	-4,90

Опробование катализатора риформинга у поставщика выполнялось путем отбора точечных проб из каждого тарного места, у потребителя – путем последовательного отбора точечных проб на двух ротационных делителях типа «LMS-MP», формирующих сокращенные пробы с выходом 10 и 5 % соответственно [311]. Частота отбора точечных проб ротационного делителя составляет 30 мин<sup>-1</sup> (одна точечная проба в две секунды). Учитывая объем партий опробованного катализатора риформинга (не менее 3 650 кг при насыпной плотности 600 – 700 кг/м<sup>3</sup>) и производительность ротационных делителей (до 1,3 м<sup>3</sup>/ч), от одной партии в каждой операции сокращения было отобрано не менее 12 000 точечных проб. Таким образом, при помощи двух последовательных операций сокращения с отбором указанного количества точечных проб фактически был реализован высокочастотный комбинированный способ отбора проб. При этом число точечных проб от партии у поставщика не превышало 2 000. Необходимо отметить, что число точечных проб, отбираемых от партии, устанавливается нормативными документами только по нижней границе [17, 150, 224], и отбор большего числа точечных проб, как в случае с ротационными делителями, существующим требованиям не противоречит. По результатам расчетов установлено, что относительная случайная погрешность опробования партии составляет не более 2,10 %. С учетом этого значения большую часть относительного занижения массовой доли платины можно отнести на действие ВСП, которая составит не менее 4,40 % относительных.

Изучение ВСП на примере опробования партий сырья, содержащего благородные металлы, подтверждает, что применение высокочастотного комбинированного способа отбора проб позволяет исключить влияние ВСП на

результат опробования. Важно, что при реализации нового способа требования действующей нормативной документации не нарушаются, при этом не учтенная нормативной документацией ВСП будет исключена из результата опробования.

### **7.2.3. Устранение влияния вероятной систематической погрешности на результат определения гранулометрического состава продуктов обогащения**

Объективный контроль гранулометрического состава продуктов обогащения необходим для обеспечения заданных показателей процесса. Одним из основных критериев, оцениваемых на основании определения гранулометрического состава, является выход готового класса крупности. От выхода готового класса зависит степень раскрытия минеральных зерен, напрямую влияющая на извлечение ценных компонентов в концентрат. Выход готового класса также определяет количество шламов, которые могут отрицательным образом повлиять на извлечение ценных компонентов [60, 66, 83, 230, 312, 313, 314].

Существует большое количество примеров влияния гранулометрического состава исходных продуктов на показатели обогащения [147, 173, 257, 292, 298, 315, 316, 317, 318, 319, 320]. Так, например, для флотации смеси руд с различным характером вкрапленности минералов меди установлена следующая зависимость: при повышении в смеси доли первично-измененных руд целесообразно увеличивать выход класса минус 0,071 мм, а при преобладании вторично-измененных руд выход указанного готового класса нужно снижать. При переработке борнит-халькозиновых руд изменение выхода класса минус 0,071 мм в питании флотации с 67 до 80 % снижает извлечение меди в концентрат с 89 до 83 %. Переизмельчение медной руды перед межцикловой флотацией приводит к резкому снижению извлечения меди за счет ошламовывания зерен халькопирита.

Степень раскрытия породных минералов является определяющим фактором при переработке титаномагнетитовых руд – крупность питания последовательных операций мокрой магнитной сепарации в стадиях измельчения составляет от 18 до 75 % класса минус 0,071 мм. При обогащении свинцово-цинковой руды извлечение основных минералов в концентрат существенно зависит от класса крупности флотируемых раскрытых частиц. Уменьшение крупности частиц минералов с минус 0,045 до минус 0,010 мм приводит к разнонаправленным тенденциям с изменением их извлечения:

- для галенита извлечение снижается с 82,5 до 30,9 %;
- для сфалерита извлечение сохраняется на уровне 5 – 6 %;
- для пирита извлечение снижается с 28,7 до 12,9 %.

Приведенные примеры наглядно демонстрируют необходимость объективного и своевременного контроля гранулометрического состава исходных продуктов, направляемых на обогащение. Особую актуальность вопросы

определения гранулометрического состава приобретают в совокупности с разработкой технологий и оборудования для повышения эффективности дробления и измельчения руд, а также работами, связанными с реконструкцией существующих обогатительных фабрик [60, 76, 202, 220, 231, 321]. Реконструкция действующих обогатительных фабрик в ряде случаев предполагает повышение извлечения ценных компонентов относительно существующих значений за счет увеличения выхода готового класса [94, 105, 146, 220, 312, 321, 322, 323]. Так, например, в медно-цинковых и золотосодержащих рудах до 40 % золота может находиться в классе минус 0,071 мм. При переработке медно-цинковых руд с попутным содержанием золота флотационными методами потери нераскрытого золота с хвостами на некоторых обогатительных фабриках достигают 30 %.

Пробы для определения гранулометрического состава отбираются с различной периодичностью: от 30 минут для пульпы до 12 часов для дробленой руды. Например, отбор пробы исходной руды после последней стадии дробления в крупности минус 25 мм может выполняться один раз в смену, так как принято считать, что гранулометрический состав дробленого продукта практически не изменяется. Тем не менее, даже при устойчивой работе обогатительной фабрики на изменение гранулометрического состава дробленого и измельченного продуктов непрерывно влияет множество факторов, связанных с режимами работы оборудования и физико-механическими свойствами руды. Это приводит к многочисленным флуктуациям гранулометрического состава на всех стадиях дробления и измельчения [324].

Возникающие флуктуации гранулометрического состава носят асимметричный характер, так как увеличить выход готового класса при заданных режимах дробления и измельчения невозможно, тогда как уменьшение его вполне возможно. В результате зависимость изменения выхода готового класса от времени будет иметь четко выраженную отрицательную тенденцию. При периодическом отборе в пробу преимущественно попадает продукт, близкий по выходу готового класса к заданному. Значительные отклонения от заданной величины в меньшую сторону в силу непродолжительности действия обнаруживаются в пробах гораздо реже. Таким образом, значимые по величине занижения выхода готового класса с помощью проб, отобранных с большой периодичностью, не обнаруживаются, что закономерно приводит к искусственному завышению выхода готового класса. Такое завышение носит систематический характер и является следствием действия ВСП, обусловленной дискретностью (периодичностью) опробования.

Имеющиеся данные по работе обогатительных фабрик, использующих для опробования продуктов обогащения высокочастотный комбинированный способ, подтверждают влияние ВСП на достоверность определения гранулометрического состава. Получены сравнительные данные определения гранулометрического состава по результатам отбора проб слива гидроциклонов способом периодического поперечного пересечения и высокочастотным комбинированным способом. На одной из обогатительных фабрик для слива гидроциклонов периодическое пересечение выполняется вручную, один раз в 60 минут, а отбор

проб высокочастотным комбинированным способом производится с применением станции опробования пульпы СОП-1-325-08П [134, 318, 325]. Установлено, что отбор проб способом периодического пересечения приводит к завышенному значению выхода готового класса минус 0,071 мм. За месяц отобранные периодическим пересечением пробы показали выход класса минус 0,071 мм, равный 89,4 %, тогда как в накопленных пробах, полученных высокочастотным комбинированным способом, выход готового класса составил 84,6 %, что на 4,8 % меньше. Занижение выхода готового класса для высокочастотного комбинированного способа отбора и подготовки проб за рассматриваемый период времени произошло более, чем в 93 % случаев. При этом завышение указанного значения (менее 7 % случаев) не превышает 0,3 %.

Аналогичные показатели для определения гранулометрического состава пульпы на другой обогатительной фабрике за месяц составили соответственно 91,9 и 88,3 % (на 3,6 % меньше). Случайная погрешность определения выхода готового класса за месяц при усреднении данных по ручному отбору проб (90 сменных проб) не будет большой и не превысит 0,1 %. Это позволяет считать преимущественную часть значений +4,8 и +3,6 % экспериментально установленной величиной ВСП.

Аналогичные сравнительные результаты получены для опробования измельченного золотосодержащего шлама. По результатам опробования пяти партий золотосодержащего шлама путем отбора точечных проб из объема каждого тарного места установлено значение выхода класса -3+1 мм, составившее от 0,36 до 3,20 %, при среднем значении по пяти партиям, составляющем 1,66 %. При опробовании тех же партий шлама с использованием дискового сократителя типа «СОД-2» выход указанного класса по всем партиям составил от 2,20 до 4,92 % при среднем выходе по партиям 3,63 %. Сравнительные данные по определению класса -3+1 мм в пробах измельченного шлама приведены в таблице 7.6.

Очевидно, что результаты опробования при наличии ВСП и результаты опробования при отсутствии ВСП характеризуются систематическим завышением выхода контролируемого класса для высокочастотного комбинированного способа, составляющим 1,97 % (54,27 % относительных). При этом рассчитанная величина относительной случайной погрешности определения выхода указанного класса, исходя из числа точечных проб (от 250 до 330), составляет не более 0,32 %. На этом основании можно утверждать, что преобладающая часть величины завышения выхода класса -3+1 мм, составляющая 1,93 % абсолютных, вызвана действием ВСП.

Распространение получают приборы автоматического определения гранулометрического состава сыпучих и пульпообразных продуктов – автоматические гранулометры [318, 325, 326, 327]. Точность определения гранулометрического состава у гранулометров достаточно высока – относительная разница результатов определения выхода частных классов крупности автоматическим и ручным способами не превышает величины  $\pm 4$  %. Учитывая, что при правильно выполненном ручном просеивании разделение



пробы по крупности можно выполнить с минимальной погрешностью и получить близкий к абсолютной величине результат, указанная точность автоматического определения гранулометрического состава является достаточной [324]. Тем не менее, при использовании гранулометров для контроля измельченных продуктов обогащения также возможно возникновение ВСП из-за больших временных интервалов между отбором проб от потока контролируемого продукта. В таблицах 7.7 и 7.8 приведены сравнительные результаты по работе гранулометра седиментационного типа с частотой рабочих циклов (отборов проб от потока) 6 и 54 минуты на измельченном исходном продукте обогатительной фабрики. В качестве контрольной величины выхода определяемого готового класса выбраны показания станции опробования пульпы СОП-1-426-04П.

Таблица 7.6 – Сравнительные результаты определения класса -3+1 мм в пробах измельченного золотосодержащего шлама

Номер партии	Выход класса -3+1 мм, %		Разность выхода класса -3+1 мм, %	
	отбор и подготовка проб комбинированным способом	отбор точечных проб из тарного места	абсолютная	относительная
1	2,20	0,36	1,84	83,64
2	3,40	2,04	1,36	40,00
3	3,53	1,71	1,82	51,56
4	4,92	3,20	1,72	34,96
5	4,10	0,99	3,11	75,85
Среднее значение	3,63	1,66	1,97	54,27

За контрольный период в 27 смен результаты определения гранулометрического состава в пробах СОП-1-426-04П и с помощью автоматического гранулометра оказались идентичными – 89,4 % при периодичности рабочих циклов гранулометра в 6 минут (таблица 7.7). Это свидетельствует о снижении влияния на результат опробования ВСП при увеличении числа проб (в данном случае до 6 минут) или переходе к высокочастотному опробованию потока (станция опробования СОП-1-426-04П). На основании этого можно предположить, что при имеющихся флуктуациях гранулометрического состава и правильной настройке гранулометра существующей частоты рабочих циклов (6 минут) достаточно для устранения значимого влияния ВСП на результат опробования.

Таблица 7.7 – Сравнительные результаты определения гранулометрического состава по результатам опробования слива гидроциклонов при частоте рабочих циклов гранулометра 6 минут

Смена (№ п/п)	Выход класса -0,071 мм	
	СОП-1-426-04П	автоматический гранулометр
1	89,7	90,2
2	91,7	90,2
3	94,4	85,5
4	94,0	85,5
5	94,5	50,1 (неисправность)
6	90,3	92,7
7	87,2	93,7
8	90,4	85,2
9	89,2	85,0
10	89,3	85,3
11	89,2	89,6
12	88,0	90,2
13	89,8	89,6
14	88,3	88,1
15	83,7	87,9
16	82,6	88,3
17	83,3	90,2
18	87,9	90,2
19	88,0	84,2
20	87,4	85,6
21	90,8	93,0
22	89,4	91,2
23	90,9	90,9
24	90,8	92,3
25	89,9	92,0
26	89,6	92,1
27	91,5	92,5
28	90,9	91,4
Среднее значение	89,4	89,4

В одну из указанных в таблице 7.7 смен в работе гранулометра был зафиксирован технический сбой. В результате гранулометр зафиксировал резкое отклонение выхода готового класса в меньшую сторону – до 50 % готового класса в смене № 5. При этом резкое изменение гранулометрического состава не нашло отражения в накопленной пробе СОП-1-426-04П, что является подтверждением неисправности гранулометра. Совпадение результатов опробования установлено при исключении из расчетов результатов по смене № 5.

Таблица 7.8 – Сравнительные результаты определения гранулометрического состава по результатам опробования слива гидроциклонов при частоте рабочих циклов гранулометра 54 минуты

Смена (№ п/п)	Выход класса -0,071 мм	
	СОП-1-426-04П	автоматический гранулометр
1	84,4	91,3
2	89,6	91,2
3	90,0	93,2
4	93,1	93,5
5	91,5	90,4
6	92,6	92,1
7	86,6	92,4
8	89,4	93,2
9	86,8	89,0
10	83,8	89,9
11	89,9	90,6
12	85,9	90,4
13	87,4	91,8
14	84,3	88,9
15	86,9	93,0
16	84,6	89,3
17	85,3	90,0
18	76,8	84,1
19	78,9	85,0
Среднее значение	86,7	90,5

Из данных таблицы 7.8 видно, что при снижении частоты рабочих циклов гранулометра с 6 до 54 минут значение выхода готового класса за 19 смен имеет завышение относительно контрольной величины на 3,8 %. По отдельным сменам завышение составило до 7,3 % (смена № 18). Очевидно, что преобладающая доля указанного завышения возникает из-за действия ВСП, которая при невысокой частоте рабочих циклов оказывается значимой.

Полученные результаты полностью соответствуют теоретическим представлениям о влиянии ВСП на результат определения гранулометрического состава при отборе проб способом периодического пересечения [46, 134]:

- завышение выхода подрешетного класса обусловлено отсутствием в пробах, отобранных с относительно большой периодичностью, продукта с заниженным выходом подрешетного класса;
- сравнительно редкие случаи занижения выхода подрешетного класса объясняются отбором проб в период действия резких отрицательных изменений зависимости выхода подрешетного класса от времени;

- занижение выхода надрешетного класса обусловлено отсутствием в пробах, отобранных с относительно большой периодичностью, продукта с завышенным выходом надрешетного класса;

- сравнительно редкие случаи завышения выхода надрешетного класса объясняются отбором проб в период действия резких положительных изменений зависимости выхода надрешетного класса от времени;

- за относительно большой контрольный период (декада, месяц) разница выхода контролируемого класса в пробах, полученных разными способами, снижается относительно разницы за короткий период (смена, сутки, партия).

Учитывая приведенные результаты экспериментального определения ВСП, возникает вопрос о контроле гранулометрического состава продуктов при совершенствовании процессов рудоподготовки.

Принимая во внимание актуальность контроля гранулометрического состава исходных продуктов обогащения для управления процессами рудоподготовки и повышения их эффективности, обнаруженной ВСП пренебрегать нельзя. Для достоверного контроля гранулометрического состава исходных продуктов обогащения и объективной оценки результатов внедрения новых технологий рудоподготовки предпочтительным является использование высокочастотного комбинированного способа отбора и подготовки проб.

#### **7.2.4. Снижение случайной погрешности результата опробования**

Применение высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб, наряду с устранением ВСП, может также снизить величину случайной погрешности результата опробования. Это характерно для продуктов с высоким коэффициентом вариации контролируемых опробованием компонентов [107, 108, 109, 128, 132, 148, 167, 168, 206, 213, 226]. В качестве примера ниже рассмотрена действующая система отбора и сокращения проб исходной медной руды на одной из обогатительных фабрик.

После последней стадии дробления руда подается в отделение измельчения при помощи ленточного конвейера. На узле перегрузки руды с ленточного конвейера на распределительный конвейер установлен пробоотборник лоткового типа, отбирающий точечную пробу массой 20 килограммов с периодичностью 15 минут. Отобранная точечная проба самотеком поступает на каскад из трех последовательно установленных желобчатых делителей, в результате чего сокращается в восемь раз до массы 2,5 кг. За смену продолжительностью восемь часов в результате работы системы формируется накопленная проба массой около 80 килограммов.

Условия для расчета случайных погрешностей результата опробования медной руды по существующей схеме следующие:

- массовая доля меди в руде составляет 0,5 %;
- коэффициент вариации массовой доли меди в руде принят согласно ГОСТ 14180-80 [15] и составляет 35 %;

- крупность опробуемой руды составляет минус 20 мм.  
Случайная погрешность отбора пробы:

$$S_{\text{от}}^2 = \frac{S^2}{N} = \frac{0,175^2}{32} = 970 \cdot 10^{-6} \% ^2$$

Случайная погрешность подготовки пробы рассчитана для схемы, составленной на основании действующей документации обогатительной фабрики и требований ГОСТ 14180-80.

Расчет покусковой дисперсии для руды по стадиям пробоподготовки:

1. Для измельченной пробы руды без сrostков крупностью минус 0,1 мм:

$$S_{\text{к}}^2 = \frac{\rho_{\text{м}}}{\rho_{\text{п}}} \cdot \alpha \cdot \beta_{\text{м}} = \frac{4200}{3000} \cdot 0,5 \cdot 34,6 = 24,22 \% ^2$$

2. Для дробленой пробы руды со сrostками крупностью 10 мм:

$$S_{\text{к}}^2(10\text{мм}) = S_{\text{к}}^2 \cdot \left(\frac{d_3}{d}\right)^{1,5} = 24,22 \cdot \left(\frac{0,5}{10,0}\right)^{1,5} = 0,27 \% .$$

3. Для дробленой пробы руды со сrostками крупностью 3 мм:

$$S_{\text{к}}^2(3\text{мм}) = S_{\text{к}}^2 \cdot \left(\frac{d_3}{d}\right)^{1,5} = 24,22 \cdot \left(\frac{0,5}{3,0}\right)^{1,5} = 1,68 \% .$$

4. Для исходной пробы руды со сrostками крупностью 20 мм:

$$S_{\text{к}}^2(20\text{мм}) = S_{\text{к}}^2 \cdot \left(\frac{d_3}{d}\right)^{1,5} = 24,22 \cdot \left(\frac{0,5}{20,0}\right)^{1,5} = 0,1 \% .$$

В выполненных расчетах принято:

- $\rho_{\text{м}}$  и  $\rho_{\text{п}}$  – плотность минерала (халькопирита) и породы соответственно, кг/м<sup>3</sup>;
- $\alpha$  – средняя массовая доля меди в руде, %;
- $\beta_{\text{м}}$  – массовая доля меди в халькопирите (34,6 %);
- $d_3$  – максимальный размер зерен халькопирита (для расчета принято 0,5 мм);
- $d$  – крупность опробуемой руды, мм.

Отсюда

$$\begin{aligned}
 S_{\text{под}}^2 &= 1,3 \left[ 2 \cdot 0,5 \cdot 0,1 \cdot 3000 (10 \cdot 10^{-3})^3 \cdot \left( \frac{1}{80} - \frac{1}{640} \right) + 2 \cdot 0,5 \cdot 0,27 \cdot 3000 \cdot \right. \\
 &\quad \left. \cdot (5 \cdot 10^{-3})^3 \cdot \left( \frac{1}{6} - \frac{1}{80} \right) + 2 \cdot 0,5 \cdot 1,68 \cdot 3000 (1,5 \cdot 10^{-3})^3 \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{6} \right) \right] + \\
 &\quad + \left[ 2 \cdot 0,5 \cdot 24,22 \cdot 3000 (0,05 \cdot 10^{-3})^3 \cdot \left( \frac{1}{0,05} - \frac{1}{2} \right) \right] = \\
 &= 31,7 \cdot 10^{-6} \%^2.
 \end{aligned}$$

Случайная погрешность анализа пробы:

$$S_{\text{ан}}^2 = \frac{1}{3} \left( \frac{0,04}{1,13} \right)^2 = 413 \cdot 10^{-6} \%^2.$$

Случайная погрешность анализа пробы рассчитана на основании погрешности аттестованной МВИ.

Общая случайная погрешность результата опробования:

$$S_{\text{рез}}^2 = 970 \cdot 10^{-6} + 31,7 \cdot 10^{-6} + 413 \cdot 10^{-6} = 1414,7 \cdot 10^{-6} \%^2;$$

$$S_{\text{рез}} = 37,6 \cdot 10^{-3} \%.$$

Относительная случайная погрешность сменной пробы:

$$P_{\text{смCu}} = \frac{2 \cdot 37,6 \cdot 10^{-3}}{0,5} \cdot 100 = 15,05 \%.$$

На основании выполненных расчетов можно сделать вывод о достаточно высокой величине случайной погрешности отбора точечных проб пробоотборником от потока руды на ленточном конвейере. Для существующей схемы отбора и сокращения проб погрешность отбора начальной пробы является преобладающей в части влияния на величину общей погрешности опробования (доля погрешности в общем результате составляет до 69 %).

Погрешность сокращения начальной пробы является фактически минимальной (доля погрешности в общем результате 2,2 %) и малозначимой на фоне погрешностей отбора начальной пробы и анализа.

Погрешность анализа задана аттестованными МВИ для продуктов переработки на массовую долю меди и исходя из имеющейся практики опробования медных руд [2, 3, 7, 58, 67, 83, 95, 282, 321, 328] является вполне приемлемой.

Целью оптимизации процессов опробования по случайной погрешности является ее снижение с учетом возможности практического выполнения предложенных изменений в существующих условиях. Такая оптимизация целесообразна, если случайные погрешности могут существенно повлиять на принятие тех или иных решений по управлению технологией обогащения. Снижение случайной погрешности сокращения и подготовки пробы для рассматриваемого случая не представляется возможным и не имеет практического смысла в силу малой значимости погрешности указанных операций. Теоретически, погрешность сокращения и подготовки пробы могла бы быть снижена до уровня в  $(10 - 15) \times 10^{-6} \%^2$  за счет предварительного измельчения всей начальной пробы до крупности менее 0,5 мм (до крупности раскрытия сростков). Но такое снижение не обеспечит сколько-нибудь значимого уменьшения общей погрешности опробования на фоне величины других ее слагаемых.

Очевидным направлением снижения случайной погрешности результата опробования является уменьшение погрешности отбора точечных проб. Это возможно выполнить только за счет увеличения частоты отбора точечных проб, что в условиях применения правильного с точки зрения отсутствия систематической погрешности пробоотборника не приведет к принципиальному усложнению всей схемы отбора и сокращения. При этом необходимо пропорционально увеличивать степень сокращения точечных проб. Так, например, при увеличении числа точечных проб в 15 раз (до одной точечной пробы в минуту, увеличение числа точечных проб, формирующих начальную сменную пробу, с 32 до 480) общая относительная случайная погрешность результата опробования за смену снижается с 15,05 до 9,04 %. Это происходит за счет существенного снижения погрешности отбора точечных проб (с  $970 \times 10^{-6}$  до  $65 \times 10^{-6} \%^2$ ). Увеличение степени сокращения с 8 до 120 раз возможно выполнить при помощи дискового сократителя типа «СОД-2». Для существующей крупности опробуемого продукта и производительности линии по точечным пробам может быть использован дисковый сократитель СОД-2-300-2 [3, 6, 159, 224, 225, 226], обеспечивающий увеличенную степень сокращения, что позволит сохранить существующую массу накопленной сменной пробы руды. Результаты расчета существующей и предложенной схем опробования исходной медной руды по случайной погрешности приведены в таблице 7.9. В таблице 7.10 приведен результат оценки влияния погрешности отдельных операций опробования на величину общей погрешности существующей и предлагаемой схем опробования медной руды.

Расчеты продемонстрировали снижение относительной случайной погрешности результата опробования с 15,05 до 9,04 %. Снижение достигнуто за счет существенного уменьшения погрешности отбора точечных проб при незначительном увеличении погрешности сокращения.

Таблица 7.9 – Случайные погрешности опробования исходной медной руды за смену по различным вариантам схем

Вариант схемы отбора и сокращения проб	Случайная погрешность по операциям $S^2, \%^2$			Случайная погрешность результата $S^2_{рез}, (x 10^{-6}) \%^2$	Относительная случайная погрешность схемы опробования, %
	отбор точечных проб $S^2_{от} (x 10^{-6})$	получение (сокращение) и подготовка сокращенной пробы $S^2_{сокр} (x 10^{-6})$	анализ $S^2_{ан} (x 10^{-6})$		
Существующая схема	970	31,7	413	1414,7	15,05
Схема с дисковым сократителем	65	33,0	413	511,0	9,04

Таблица 7.10 – Оценка влияния составляющих случайной погрешности на результат опробования медной руды

Вариант схемы отбора и сокращения проб	Доля составляющей случайной погрешности операций в общей погрешности результата опробования, %		
	отбор точечных проб	получение (сокращение) и подготовка сокращенной пробы	анализ
Существующая схема	68,6	2,2	29,2
Схема с дисковым сократителем	12,7	6,5	80,8



Указанные технологическое и техническое решения по снижению величины случайной погрешности носят практический характер и реализованы на практике. Для достижения в указанной точке *технологического предела достоверности опробования* необходимо увеличить частоту отбора точечных проб ориентировочно до 30 секунд (около 1 000 точечных проб за смену). Для повышенного числа точечных проб также необходимо предусмотреть соответствующее увеличение степени их последующего сокращения.

### **7.3. Улучшение технико-экономических показателей переработки сырья за счет применения высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб**

По состоянию на 2023 г. разработанное оборудование для отбора и сокращения проб эксплуатируется более, чем на тридцати предприятиях горно-обогатительной, металлургической и химической промышленности (Приложение IV). По опыту внедрения дисковых сократителей и станций опробования на обогатительных фабриках, перерабатывающих медно-цинковые и золотосодержащие руды, установлено снижение случайных погрешностей накопленных сменных проб по сравнению с применявшимся ранее оборудованием и способами опробования, а также значительное снижение величины ВСП [133, 134, 135, 150, 160, 226, 237]. Высокая представительность получаемых проб и эксплуатационная надежность позволяют использовать указанное оборудование преимущественно для товарного опробования продуктов переработки, при этом результаты эксплуатации в течение длительного времени демонстрируют систематическое снижение величины невязки товарного баланса [3, 32, 46, 47, 49, 54, 67, 102, 156, 232]. Это установлено экспериментально при помощи расчета невязки как по результатам параллельного опробования продуктов переработки различными способами, так и по результатам сравнения величины относительной невязки за различные периоды работы на сырье одного состава. В таблице 7.11 приведены сравнительные показатели изменения относительной невязки товарного баланса обогатительной фабрики по результатам параллельного опробования, в таблице 7.12 – аналогичные результаты за различные периоды работы той же обогатительной фабрики. В таблице 7.13 также приведены данные по изменению относительной невязки товарного баланса медно-цинковой обогатительной фабрики (по меди и цинку) и ЗИФ (по золоту и серебру) после перехода на высокочастотный комбинированный способ отбора и подготовки проб. Во всех таблицах приведены значения положительной и отрицательной относительной невязки.

Очевидно, что использование нового оборудования позволило существенно снизить величину относительной невязки товарного баланса.

По данным таблиц 4.10 и 4.11, для обогащения медно-цинковых руд показатели снижения величины невязки следующие:

- в 1,5 и 1,6 раза по меди и цинку соответственно для положительных значений невязки;
- в 1,8 и 1,8 раза по меди и цинку соответственно для отрицательных значений невязки;
- по золоту в 2,1 раза для положительных значений невязки и в 1,9 раза для отрицательных значений невязки.

Таблица 7.11 – Изменение величины невязки товарного баланса обогатительной фабрики в зависимости от условий опробования (по результатам параллельного опробования)

Условия опробования	Относительная невязка товарного баланса, %					
	медь		цинк		золото	
Опробование потоков пульпы вручную, сокращение проб сыпучих продуктов вручную методом квартования	+4,6	-6,6	+3,5	-3,6	+8,2	-15,1
Опробование потоков пульпы при помощи станции опробования типа «СОП», сокращение проб сыпучих продуктов на дисковом сократителе типа «СОД-2»	+3,1	-3,6	+2,9	-2,0	+4,2	-8,2

Таблица 7.12 – Изменение величины невязки товарного баланса обогатительной фабрики в зависимости от условий опробования (за различные периоды работы)

Условия опробования	Относительная невязка товарного баланса, %			
	медь		цинк	
Опробование потоков пульпы вручную, сокращение проб сыпучих продуктов вручную методом квартования	+4,0	-6,1	+4,7	-3,0
Опробование потоков пульпы при помощи станции опробования типа «СОП», сокращение проб сыпучих продуктов на дисковом сократителе типа «СОД-2»	+3,1	-3,6	+2,9	-2,0

По данным таблицы 7.13, снижение величины невязки для медно-цинковой обогатительной фабрики произошло в среднем 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.

Механизм снижения невязки товарного баланса рассмотрен на примере.

Сверхнормативные потери полезного компонента на обогатительных фабриках могут возникать не только за счет фактических механических потерь

или нарушения технологии. Показанные опробованием потери полезного компонента могут носить фиктивный характер, не являясь фактическими потерями. Так, например, на одной из обогатительных фабрик ежемесячно в течение нескольких лет наблюдается отрицательная невязка (недостача) по меди и по цинку. Отрицательная невязка товарного баланса по меди составляет в среднем 3,0 %; средняя отрицательная невязка по цинку составляет 4,2 %. Такая систематическая разница требует выяснения причин потерь полезных компонентов и локализации точек потерь, а также принятия мер для недопущения потерь в будущих периодах [3, 6, 46, 102]. Причинами сохранения знака невязки в течение длительного времени являются систематическая погрешность и ВСП [3, 46, 47, 102, 134].

Таблица 7.12 – 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 результате действия указанных погрешностей массы полезных компонентов в продуктах обогащения, полученные по результатам опробования, отличаются от фактических масс компонентов:

- если результат опробования искусственно занижает массовую долю полезного компонента в опробуемом продукте, в этом продукте возникают скрытые излишки полезного компонента;
- если результат опробования искусственно завышает массовую долю полезного компонента в опробуемом продукте, в этом продукте возникают скрытые потери полезного компонента.

В случае отсутствия значимых систематических погрешностей скрытые излишки и потери обусловлены действием ВСП. Величина ВСП результата опробования отвальных хвостов для рассматриваемой обогатительной фабрики составляет +13,0 % по меди и +11,6 % по цинку. С учетом средней производительности обогатительной фабрики и массовой доли меди и цинка в исходной руде, за месяц на обогащение поступает около 4500 тонн меди и около 6 000 тонн цинка. С отвальными хвостами теряется 540 тонн меди и 1 000 тонн цинка, что составляет нормативные потери указанных металлов. Существующая ВСП результата опробования отвальных хвостов может исказить массу металлов в отвальных хвостах на величину до +68 тонн по меди и +116 тонн по цинку

(таблица 7.14). Данные массы металлов являются скрытыми излишками для отвальных хвостов. Указанные массы меди и цинка могут быть потеряны с отвальными хвостами без учета этих масс в технологическом и товарном балансах. Искаженные таким образом результаты опробования используются при составлении товарного баланса обогатительной фабрики. В рассмотренном примере только за счет устранения ВСП результата опробования отвальных хвостов величина невязки товарного баланса по меди и цинку снижена в два раза. В таблице 7.15 приведены результаты определения скрытых масс золота и меди в различных продуктах полиметаллической обогатительной фабрики. За месяц в питании флотационного процесса могут присутствовать скрытые потери или излишки золота величиной до 25 килограммов.

В настоящее время на горно-обогатительных и металлургических предприятиях все большее внимание уделяется управлению качеством технологических процессов [4, 41, 54, 75, 88, 89, 90, 124, 153, 154, 174, 186, 259, 330, 331, 332, 333, 334, 335]. Неотъемлемой частью системы управления качеством является процесс контроля параметров исходного сырья и продуктов переработки, неразрывно связанный с опробованием. Одной из основных задач совершенствования системы опробования является повышение представительности отбора и сокращения проб. С целью решения обозначенной задачи на ряде предприятий проводятся мероприятия по механизации процессов отбора и сокращения проб. При механизации процесса первичного отбора увеличивается представительность формируемых объединенных проб (за счет увеличения числа точечных проб и массы объединенной пробы), а также снижается доля ручного труда. Механизация процессов усреднения и сокращения проб ведет к увеличению производительности операций пробоподготовки и снижению доли ручного труда. В случае, если операции механизированного отбора проб и пробоподготовки выполняются с соблюдением основных принципов опробования [6], устраняются условия для возможного возникновения систематической погрешности. Техничко-экономические показатели процессов промышленного опробования демонстрируют объективные преимущества использования нового оборудования перед немеханизированными методами получения сокращенных проб. В таблице 7.16 и 7.17 показаны данные по сменной производительности процесса сокращения материала и экономии средств фонда оплаты труда на нескольких предприятиях с использованием немеханизированных методов и сократителей типа «СОД-2».

Таблица 7.14 – Результаты определения величины скрытых масс ценных компонентов за месяц при опробовании отвальных хвостов обогатительной фабрики

Полезный компонент	Массовая доля полезного компонента по результатам опробования, %	Величина ВСП, %		Фактическая массовая доля полезного компонента, %	Масса полезного компонента за месяц по результатам опробования, т		Возможные скрытые излишки полезного компонента за месяц, т	Величина невязки товарного баланса, %	
		отн.	абс.		по результатам опробования	фактическая		по результатам опробования	фактическая
Медь	0,12	13,0	0,015	0,135	540	608	+68	-3,0	-1,5
Цинк	0,22	11,6	0,025	0,245	1 000	1 116	+116	-4,2	-2,3

Таблица 7.15 – Определение величин скрытых масс ценных компонентов при опробовании питания флотации и отвальных хвостов обогатительной фабрики за месяц

Металл в продукте	Максимальный коэффициент вариации массовой доли металла, %	Массовая доля металла	Величина ВСП		Массовая доля металла с учетом ВСП	Масса металла за месяц по результатам опробования		Возможные максимальные скрытые массы металла за месяц	
			отн., %	абс.		фактическая	возможное занижение/завышение массы металла	скрытые излишки	скрытые потери
Золото в питании флотации	35	0,80 г/т	64,5	0,52 г/т	0,28 – 1,32 г/т	38,4 кг	13,4/63,4 кг*	+25 кг	-25 кг
Золото в отвальных хвостах	50	0,20 г/т	52,1	0,10 г/т	0,30 г/т	8,4 кг	---/12,6 кг*	+4,2 кг	---
Медь в отвальных хвостах	28	0,20 %	12,0	0,024 %	0,224 %	68,0 т	---/76,2 т*	+8,2 т	---

\* – для питания флотации возможны как скрытые потери, так и скрытые излишки; для отвальных хвостов – только скрытые излишки

Из приведенных данных следует, что при использовании дисковых сократителей для формирования сокращенных проб были улучшены показатели работы участков пробоподготовки:

- при использовании дисковых сократителей для формирования сокращенных проб были улучшены показатели работы участков пробоподготовки: производительность процессов усреднения и сокращения пробы возросла в среднем в 4,9 раза;

- снижение величины фонда оплаты труда участков пробоподготовки за счет оптимизации штатной численности персонала и отказа от привлечения дополнительных работников составила в среднем 26 %.

Таблица 7.16 – Производительность участка пробоподготовки при использовании различных методов сокращения

Профиль производства	Наименование (вид) сокращаемого материала	Продолжительность процесса перемешивания и сокращения пробы, ч	
		немеханизованное сокращение способом квартования (масса пробы, кг)	сокращение на дисковом сократителе
Обогатительное	Исходная руда	1,2 (50)	0,3
Медеплавильное	Концентрат гравитационный	1,4 (72)	0,4
Электролизное	Шлаки отделения аффинажа	4,2 (900)	0,6
	Шлаки металлургического передела	2,5 (550)	0,5

Таблица 7.17 – Относительный показатель экономии фонда оплаты труда участка пробоподготовки при использовании сократителя типа «СОД-2»

Профиль производства	Изменение величины фонда оплаты труда участка пробоподготовки	
	немеханизованное сокращение	сокращение на дисковом сократителе
Обогатительное	1,0	0,72
Медеплавильное	1,0	0,80
Электролизное	1,0	0,69
	1,0	0,75

Опыт эксплуатации оборудования для опробования на обогатительных фабриках продемонстрировал его высокую надежность, простоту обслуживания и низкие эксплуатационные затраты. Количество человеко-часов на текущее обслуживание указанного оборудования по сравнению с сопоставимыми системами опробования сократилось до трех раз, затраты на комплектующие и запасные части – более, чем в два раза.

*Применение станций опробования типа «СОП» для опробования потоков пульпы обеспечивает следующие преимущества:*

1. Обнаружение скрытых излишков и потерь ценных компонентов (по результатам работы обогатительных фабрик):

- увеличение массовой доли меди в отвальных хвостах до 0,1 % абс. (при существующем режиме опробования массовая доля меди в отвальных хвостах занижается);

- увеличение массовой доли меди в исходных рудах до 0,25 % абс. и цинка до 0,30 % абс.;

- увеличение массовой доли золота в исходных рудах до 1,2 г/т;

- снижение массовой доли золота в концентратах до 4,5 г/т.

2. Механизация процесса отбора проб.

3. Механизация операций перемешивания и сокращения проб непосредственно в точке их отбора.

4. Высокая эксплуатационная надежность оборудования с условием своевременной замены изнашивающихся частей (шаровой вентиль и целевой отсекагель, срок службы от 3 до 18 месяцев в зависимости от характеристик опробуемого потока).

*Применение дисковых сократителей типа «СОД» для опробования сыпучих продуктов обеспечивает следующие преимущества:*

1. Механизация процесса отбора проб.

2. Механизация операций перемешивания и сокращения проб как непосредственно в точке их отбора, так и на этапе пробоподготовки.

3. Высокая эксплуатационная надежность оборудования.

4. Возможность применения как в качестве отдельного оборудования, так и в составе технологических линий после пробоотборников и дробилок.

Комплексный подход к разработке и изготовлению нового оборудования для опробования основан на учете потребностей производства и условий эксплуатации оборудования в каждой конкретной точке опробования. Это позволяет сформулировать основные преимущества нового оборудования:

- разработка и изготовление с учетом индивидуальных особенностей точки опробования: учет технологических характеристик опробуемого продукта, требований стандартов к процессу опробования и пространственно-габаритных параметров места расположения;

- высокая достоверность и представительность формирования накопленной пробы за счет применения комбинированного способа отбора и сокращения проб;

- простота и надежность конструкции, отсутствие необходимости постоянного технического обслуживания;

- отсутствие необходимости непрерывной подачи к оборудованию сжатого воздуха и технологической воды.

В таблице 7.18 показана разница стоимости руд и концентратов цветных и благородных металлов, возникающая за год из-за разницы результатов опробования у производителя (поставщика) и переработчика (потребителя).



Таблица 7.18 – 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.

#### **7.4. Требования безопасности при эксплуатации оборудования для опробования**

Учитывая высокую актуальность вопросов охраны труда и промышленной безопасности [337, 338, 339, 340, 341], оснащение точек опробования механическими устройствами для отбора проб должно находиться в сфере повышенного внимания руководства предприятий, на которых выполняется опробование исходного сырья и продуктов его переработки.

В ходе эксплуатации нового оборудования для отбора и сокращения проб особое внимание необходимо уделять неукоснительному выполнению следующих требований:

1. Приемка оборудования в эксплуатацию проводится комиссией, назначаемой приказом уполномоченного руководителя.

2. Эксплуатация оборудования должна производиться в соответствии с технологическими режимами и согласно правилам, установленным технической документацией на оборудование и разработанными в соответствие с ней технологическими и рабочими инструкциями.

3. При запуске оборудования необходимо обеспечить полную безопасность работников, находящихся вблизи оборудования. Все работники предприятия, имеющие возможность доступа к оборудованию, должны быть ознакомлены с порядком подачи звуковых и световых сигналов, предупреждающих о включении, выключении и работе оборудования. Порядок подачи сигналов и их значение должны быть оформлены в наглядном виде и размещены в доступных для изучения местах.

4. Все работы по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, а также его профилактическому осмотру должны проводиться только при отключенном электропитании всех приводов всего оборудования. На шкафах с электрической пусковой аппаратурой и органами управления, а также на самом оборудовании должны быть вывешены таблички с надписью «Не включать! Работают люди!».

5. Конструкцией оборудования предусмотрены защитные кожухи и ограждения вращающихся и перемещающихся деталей и узлов. Запрещается снимать упомянутые кожухи и ограждения без отключения электропитания приводов оборудования. На время проведения работ по техническому обслуживанию, ремонту и профилактическому осмотру оборудования кожухи и ограждения могут быть сняты, но в обязательном порядке установлены на штатные места перед подключением электропитания приводов.

6. Для безопасного обслуживания и ремонта оборудования должны быть предусмотрены рабочие площадки с ограждениями, лестницы с перилами, защитные ограждения. Рабочие площадки, лестницы и ограждения должны быть изготовлены и смонтированы при оборудовании в строгом соответствии с проектом, утвержденным техническим руководителем предприятия.

7. С целью контроля за выполнением требований норм охраны труда и техники безопасности ответственные руководители должны систематически лично посещать места установки оборудования.

## **7.5. Выводы**

1. Разработаны и реализованы на различных объектах компоновочные решения, позволяющие адаптировать новое оборудование как к существующим, так и к новым промышленным объектам.

Новое оборудование применяется для комбинированного высокочастотного отбора и сокращения проб неподвижных и перемещаемых продуктов на обогатительных фабриках, а также металлургических и химических предприятиях.

Все оборудование для отбора и сокращения проб может быть смонтировано на существующих промышленных площадках без их реконструкции и высоких капитальных затрат.

2. Реализован процесс опробования сыпучих неподвижных продуктов способом перегрузки через дисковый сократитель. Дисковый сократитель может быть использован как в качестве отдельной единицы оборудования, так и в составе аппаратной линии, предусматривающей предварительное дробление опробуемого продукта.

3. Станции опробования пульпы являются универсальным оборудованием для опробования любых потоков пульповых продуктов на обогатительных фабриках. Исходя из необходимости самотечной транспортировки продуктов опробования сформулированы требования к размещению станций опробования пульпы на промышленных площадках и их совмещению с основным оборудованием.

Станции опробования пульпы могут быть смонтированы на всех типах трубопроводов при помощи разъемных соединений.

Варианты размещения станций опробования пульпы предполагают как самотечную, так и принудительную транспортировку возвратного потока. Предпочтительным является самотечная транспортировка возвратного потока.

4. Для опробования сыпучих продуктов, перемещаемых ленточными конвейерами, используются конвейерные станции опробования, все элементы конструкции и компоновка которых разрабатываются по индивидуальному проекту под определенное место на промышленной площадке.

5. Комбинированный высокочастотный способ отбора проб может быть реализован на оборудовании различных типов и в различном сочетании, которое соответствует сформулированным техническим и технологическим требованиям к точке опробования. Для соответствия требованиям комбинированного способа отдельное оборудование и аппаратные линии оснащаются необходимыми средствами автоматизации.

6. При помощи нового оборудования выполняется устранение влияния на результат опробования вероятной систематической погрешности определения массовой доли ценных компонентов и гранулометрического состава. Величина устраняемых вероятных систематических погрешностей на обогатительных фабриках составляет более 5 % для золота и более 7 % для меди и цинка, а также более 7 % по содержанию готового класса крупности.

7. Снижение случайной погрешности результата опробования в два раза может быть выполнено за счет увеличения числа точечных проб в 10 – 12 раз.

8. Применение комбинированного высокочастотного способа отбора и сокращения проб позволило улучшить показатели переработки минерального сырья. Для обогащения медно-цинковых руд 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.

9. 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.

10. Механизация отбора и сокращения проб приводит к снижению трудозатрат операций опробования и снижению доли ручного труда. Производительность процессов усреднения и сокращения пробы возросла в 3 – 5 раз. Снижение величины фонда оплаты труда участков пробоподготовки за счет оптимизации штатной численности персонала и отказа от привлечения дополнительных работников составила более 25 %.

11. Применение предложенного 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.

12. Суммарный экономический эффект от применения высокочастотного комбинированного способа отбора и сокращения проб для опробования балансовых продуктов медно-цинковых обогатительных фабрик составляет до 50 млн. руб. в год, на ЗИФ – до 90 млн. руб. в год.

## 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, большой 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.



### Библиографический список

1. Трубецкой К. Н., Чантурия В. А., Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья / М.: Наука, 2010. – 424 с.
2. Чантурия В. А., Шадрунова И. В. (ред.) Технология обогащения медных и медно-цинковых руд Урала. – М.: Наука, 2016. – 387 с.
3. Комлев А. С. Комбинированный способ отбора и сокращения проб минеральных продуктов: научная монография. – Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2020. 216 с.
4. Уткина С. И. Экономика горного предприятия. Учебное пособие для вузов. – М.: МГГУ, 2003. – 262 с.
5. Технологическая инструкция по обогащению руд на Талнахской обогатительной фабрике Производственного объединения обогатительных фабрик. Норильск: ОАО «ГМК «Норильский никель» ЗФ ТОФ ПООФ, 2015. – 390 с.
6. Козин В. З. Опробование минерального сырья на обогатительных фабриках: учебник для ВУЗов / В. З. Козин; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – 208 с.
7. Карпенко Н. В. Опробование и контроль качества продуктов обогащения руд. М.: Недра, 1987. – 216 с.
8. Кравец Б. Н. Специальные и комбинированные методы обогащения / М.: Недра, 1986. – 304 с.
9. Кузьмин В. Г., Кравец Б. Н. Минералургия жильного кварца // М.: Недра, 1990. – 293 с.
10. ТУ 5726-036-00193861-06. Материалы полевошпатовые. Технические условия.
11. ГОСТ 13451-77. Материалы полевошпатовые и кварц-полевошпатовые для стекольной промышленности. Технические условия. М.: Издательство стандартов.
12. ГОСТ 24598-81. Руды и концентраты цветных металлов. Ситовый и седиментационный методы определения гранулометрического состава. М.: Издательство стандартов.
13. Котляр Ю. А., Меретуков М. А., Стрижко Л. С. Металлургия благородных металлов. – М.: МИСИС, Издательский дом «Руда и металлы», 2005. – 392 с.
14. ГОСТ 15054-80. Руды железные, концентраты, агломераты и окатыши. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения содержания влаги. М.: Издательство стандартов.

15. ГОСТ 14180-80. Руды и концентраты цветных металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги. М.: Издательство стандартов. – 27 с.

16. ГОСТ 28192-89. Отходы цветных металлов и сплавов. Методы отбора, подготовки проб и методы испытаний. М.: Издательство стандартов.

17. ОСТ 38-01383. Отработанные катализаторы алюмоплатиновые монометаллические и полиметаллические и отходы производства катализаторов. Правила приемки, отбор проб, упаковка, маркировка, транспортирование и хранение.

18. ОСТ 48-276–86. Руды и концентраты цветных металлов с попутным содержанием благородных металлов. Отбор и подготовка проб для определения содержания благородных металлов и влаги.

19. ГОСТ 13170-80. Руды и концентраты цветных металлов. Метод определения влаги. М.: Издательство стандартов.

20. ОСТ 48-214-82. Концентраты платиновых металлов. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения содержания влаги.

21. ГОСТ 23148. Порошки, применяемые в порошковой металлургии. Отбор проб. М.: Издательство стандартов.

22. ТУ 1751-002-44577806-2003. Концентраты платиновых металлов. Технические условия.

23. ГОСТ 2.114-95. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Технические условия (с Изменениями N 1, 2, с Поправкой). М.: Издательство стандартов.

24. ГОСТ Р 52998-2008. Концентрат медный. Технические условия (с Поправкой). М.: Стандартинформ.

25. *Holmes R. J.* The importance of sampling in resource definition, process control, metallurgical accounting and sales of mineral products // XXVIII international Mineral Processing Congress. Quebec City, Canada. 2016. Paper ID 804.

26. *Brochot S.* Sampling for metallurgical test: how the test results can be used to estimate their confidence level // XXVIII international Mineral Processing Congress. Quebec City, Canada. 2016. Paper ID 438.

27. *Reddi G. S., Rao C. R. M.* Analytical techniques for the determination of precious metals in geological and related materials // *Analyst*. 1999. Vol. 124. P. 1531 – 1540.

28. *Кушнарченко Ю. С.* Значения коэффициента «К» при определении надежной массы пробы // Плаксинские чтения. Инновационные процессы в технологиях комплексной, экологически безопасной переработки минерального и нетрадиционного сырья. – Новосибирск, 2009. – С. 289 – 290.

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

30. *Engströrn K. Esbensen K. H.* Evaluation of sampling systems in iron concentrating and pelletizing processes – Quantification of Total Sampling Error (TSE) vs. process variation // *Minerals Engineering* V. 116, 15 January 2018, pp. 203 – 208.

31. *Lishchuk V., Lambery P., Lund C.* Evaluation of sampling in geometallurgical programs through synthetic deposit model // XXVIII international Mineral Processing Congress. Quebec City, Canada. 2016. Paper ID 378.
32. *Хан Г. А.* Опробование и контроль технологических процессов обогащения. – М.: Недра, 1979. – 254 с.
33. *Pitard F.* Correct sampling systems and statistical tools for metallurgical processes // XXVII international Mineral Processing Congress. Santiago, Chile. 2014. Chap. 15, P. 1.
34. ГОСТ Р ИСО 9001-2008. Системы менеджмента качества. Требования.
35. ГОСТ Р ИСО 5725-1, 2, 3, 4, 5, 6-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. М.: Издательство стандартов.
36. DS 3077:2013 «Representative sampling – Horizontal standard».
37. ISO 11648-1(2) «Statistical aspects of sampling from bulk materials – Part 1: General Principles; Part 2: Sampling of particular materials».
38. ISO 12743:2018 «Copper, lead, zinc and nickel concentrates – Sampling procedures for determination of metal and moisture content».
39. ISO 12744:2006 (E) «Copper, lead, zinc and nickel concentrates – Experimental methods for checking the precision of sampling».
40. ISO 13292:2006 (E) «Copper, lead, zinc and nickel concentrates – Experimental methods for checking the bias of sampling».
41. *Соколова О. Г.* Управление качеством: учебное пособие / О. Г. Соколова; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. – 382 с.
42. *Козин В. З.* Технологический баланс обогатительных фабрик. Научная монография. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. 150 с.
43. *Локонов М. Ф.* Опробование на обогатительных фабриках. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 276 с.
44. *Зайцев В. А., Макарова Т. А., Барков А. В., Бахтияров А. В., Москвин Л. Н.* Неразрушающий контроль состава полиметаллических руд и продуктов обогатительного цикла // Цветные металлы, 2006, № 8, с. 60 - 67.
45. *Бондаренко А. В., Захаров П. А., Шевелев Е. С.* Создание автоматической системы опробования пульповых продуктов для горно-обогатительных предприятий // Горный журнал. 2016. № 11. С.75 – 79.
46. *Козин В. З.* Товарный баланс обогатительных фабрик: научная монография. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. – 133 с.
47. *Карпенко Н. В.* К оцениванию невязки и корректировке товарного баланса металлов на обогатительных фабриках // Обогащение руд. 1992. № 1. С. 13 – 20.
48. Типовые методические указания по определению, учету, экономической оценке и нормированию потерь твердых полезных ископаемых и содержащихся в них компонентов при переработке минерального сырья. М.: Отраслевой стандарт СССР. – 97 с.
49. *Браун В. И., Дюмин В. Г., Процупто В. С., Милин И. М.* Баланс металлов. Расчеты на ЭВМ: справочное пособие // М.: Недра, 1991. 192 с.

50. *Козин В. З.* Контроль технологических процессов обогащения: учебник для вузов / В. З. Козин; Урал. гос. горный ун-т. 4-е изд., стереотипное. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. – 303 с.

51. *Трушков Н. И.* Экспертиза рудных месторождений. Опробование и подсчет запасов. Часть первая / Ленинград: ОНТИ. Горгеолнефтьиздат, 1934. – 217 с.

52. Типовая инструкция по составлению товарного баланса металлов на обогатительных фабриках Министерства цветной металлургии СССР. 1968 г.

53. *Трушков Н. И.* Экспертиза рудных месторождений. Перспективы эксплуатации. Часть вторая / Ленинград: ОНТИ. Горгеолнефтьиздат, 1935. – 168 с.

54. *Остапенко П. Е., Остапенко С. П.* Оценка качества минерального сырья / М. – 2002. – 157 с.

55. *Темербекова Б. М.* Применение методики выявления систематической погрешности интегральных измерений технологических параметров в сложных технологических процессах и производствах. Цветные металлы, 2022, № 5. С. 79 – 86. DOI 10.17580/tsm.2022.05.11.

56. *Новицкий П. В., Зограф И. А.* Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.

57. *Глазатов А. Н., Цемехман Л. Ш.* Разработка методик опробования сырья и продуктов на содержание цветных и драгоценных металлов на обогатительных и металлургических предприятиях. Часть 1 // Цветные металлы. 2015, № 10. С. 54 – 59.

58. *Каратаева А. В., Верхорубова А. В., Семеновых Н. В.* Расчет погрешности опробования медного концентрата в технологической схеме переработки медно-цинковой руды Тарньерского месторождения на ОАО «Святогор» // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: Издательство «Форт Диалог-Исеть», 2009. С. 65 – 71.

59. *Mucha J., Szuwarzysk M.* Sampling errors and their influence on accuracy of zinc and lead content evaluation in ore from the Trzebionka mine (Silesian-Cracow Zn-Pb ore district, Poland) // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 2004. Vol. 74, Iss. 1. P. 165–170.

60. *Зимин А. В., Калинин Е. П., Рыжков К. В., Немчинова Л. А. и др.* Запуск и освоение Хайбуллинской обогатительной фабрики ООО «Башмедь» с применением технологии и оборудования ЗАО НПО «РИВС» // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XX Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2015. С. 272 – 276.

61. *Cabri L. J., McMahon G.* SIMS analysis of sulfide minerals for Pt and Au: methodology and Relative Sensitivity Factors (RSF) / Canadian Mineralogist. – 1995. – № 33. – P. 349 – 359.

62. *Козин В. З., Комлев А. С.* Влияние массы навески и условий ее отбора на погрешность результата анализа пробы // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, № 5. 2016 г.; Екатеринбург, изд-во УГГУ. – С. 76 – 83.

63. Улитенко К. Я., Жуковецкий О. В. Автоматизированные системы аналитического контроля обогатительных и металлургических производств. Цветные металлы. 2010. № 11. С. 89 – 92.
64. Морозов В. В., Столяров В. Ф., Коновалов Н. М. Повышение эффективности управления флотацией с использованием поточных анализаторов состава пульпы // Обогащение руд, № 4, 2003. С. 33 – 36.
65. Ольховой В. А., Горшков Ю. В. Автоматизированная система аналитического контроля для обогатительных производств // Обогащение руд, № 3, 2002. С. 45 – 47.
66. Даваасамбуу Д., Эрдэнэцогт Д. Оптимизация процессов флотации медно-молибденовых руд на основе оперативного анализа минерального состава // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XX Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2015. С. 52 – 56.
67. Ляпин А. Г. Инженерно-аналитический контроль технологий добычи и переработки минерального сырья // Горный журнал. 2009. № 4. С. 14 – 16.
68. Кавчик Б. К. Схема обработки проб с предварительным извлечением крупного золота // Золотодобыча. № 177. 2013.
69. Евстигнеев Ю. Н. Сократитель пульпы для большеобъемного потока // Обогащение руд. 1986. № 2. С. 40 – 42.
70. Гудима В. И., Прокиш Ю. Ф., Кузема А. С. Современные средства пробоотбора в процессах обогащения // Обзорная информация. – М.: 1986. – 28 с.
71. Васильев П. И. Многократный сократитель руд и продуктов обогащения // Обогащение руд. – 1962, № 2. – С. 42 – 43.
72. Козин В. З., Комлев А. С. Опробование крупнокусковых продуктов // ГИАБ. – 2020. – № 3 – 1. – С. 410 – 421.
73. Морозов В. В., Хурэлчулуун И., Дэлгэрбат Л. Управление процессами дробления и грохочения с использованием визиометрического анализа руды. Цветные металлы, 2021, № 7, С. 17 – 23. DOI 10.17580/tsm.2021.07.01.
74. Kejonen I., Haavisto O., Martikainen J., Suontaka V., Musuku B. Improving grade control efficiency with rapid on-line elemental analysis//Mineral Engineering. 2018. Vol. 124. P. 68 – 73.
75. Глазатов А. Н., Лунев В. Ю., Париевский Е. В., Данченко Э. В. Экспериментальная оценка достоверности результата опробования руд на Талнахской обогатительной фабрике. Цветные металлы, 2022, № 2. С. 78 – 86. DOI 10.17580/tsm.2022.02.10.
76. Войтюк И. Н., Иванченко Д. И., Хомяков К. А. Аппаратно-программный комплекс контроля качества горной массы на ленточном конвейере / Горный журнал. № 5. 2020.
77. Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых // 2020. 285 с.
78. Баранов В. Ф. Обзор мировых достижений и проектов рудоподготовки новейших зарубежных фабрик / Обогащение руд, 2008. – № 1. – С. 8 – 12.

79. Ларионов А. Н., Калининко Л. С., Рязанов М. А. Сухие рудоподготовительные технологии как средство повышения эффективности сепарационных процессов. Рациональное освоение недр. 2015 № 5 – 6, С. 51 – 59.

80. Цытин Е. Ф., Ефремова Т. А., Овчинникова Т. Ю. Моделирование процесса рентгенофлуоресцентной сепарации // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2022. – № 11 – 1. С. 127 – 139. DOI:10.25018/0236\_1493\_2022\_111\_0\_127.

81. Азарян В. А., Трачук А. А. Обоснование геометрических и технологических параметров системы оперативного контроля качества исходной руды и продуктов обогащения // сб.: Стратегия качества в промышленности и образовании. – Т. 1. – Варна, 2007.

82. Морозов Ю. П. Проектирование обогатительных фабрик. Часть 1. Состав проекта и порядок проектирования: учебник для вузов / Ю. П. Морозов; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. – 304 с.

83. Иванов Б. С., Бодуэн А. Я., Петров Г. В. Отечественные медно-цинковые колчеданные руды: проблемы переработки и технологические перспективы // Обогащение руд, № 3. 2014. С. 7 – 13.

84. Глазатов А. Н., Цемехман Л. Ш. Разработка методик опробования сырья и продуктов на содержание цветных и драгоценных металлов на обогатительных и металлургических предприятиях. Часть 2 // Цветные металлы. 2015, № 12. С. 18 – 24.

85. Шафоростов А. П., Суслов Ю. В., Гзогян Т. Н., Губин С. Л. Система комплексного контроля процесса обогащения на Михайловском ГОКе // Горный журнал. 2003. № 11. С. 74.

86. Крылов Г. В. Упрощение обработки разведочных проб. Материалы совещания 5-7 октября 1960 г. Вопросы методики опробования рудных месторождений при разведке и эксплуатации. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – С. 27 – 35.

87. Хмара В. В. Оптимизация интервала отбора проб при дискретном контроле изменяющегося параметра // Цветные металлы. 2009. № 2. С. 97 – 99.

88. Ганбаатар З., Дэлгэрбат Л., Дуда А. М., Морозов В. В. Управление обогащением медно-молибденовых руд на основе комплексного радиометрического анализа руды // Материалы международного совещания «Плаксинские чтения». Екатеринбург: Изд-во ФДН, 2011. С. 118 – 121.

89. Бондаренко А. В., Захаров П. А., Шевелев Е. С. Создание автоматической системы опробования пульповых продуктов для горно-обогатительных предприятий // Горный журнал, № 11, 2016. С. 75 – 79.

90. Ушеров А. И., Ишиметьев Е. Н., Ляпин А. Г., Ямицков А. В., Цыгалов А. М. Непрерывный контроль химического состава сульфидной медно-цинковой руды // Заводская лаборатория, № 4, 2014. Т. 80. С. 69 – 73.

91. Морозов В. В., Столяров В.Ф., Коновалов А. М. Повышение эффективности управления флотацией с использованием поточных анализаторов состава пульпы / Обогащение руд, 2003, № 4, с. 33-36.

92. Ляпин А. Г. Новшества технического контроля. Горный журнал. 2019, № 7, С. 30 – 31.

93. *Adams M. D.* Summary of gold Plants and Processers // *Advances in gold ore processing* / ed. M. D. Adams. 2005. Ch. 41. P. 994–1013.

94. *Bergh L., Yianatos J., Olivares J., Duran J.* Expert control system of a hybrid pilot rougher flotation circuit including predictive models // XXVIII international Mineral Processing Congress. Quebec City, Canada. 2016. Paper ID 407.

95. *Глазатов А. Н., Цемехман Л. Ш., Спицын Н. К., Казаков А. М., Новиков М. Н., Соколов С. В.* Совершенствование методики опробования сливов классификации на обогатительной фабрике ОАО «Кольская ГМК». Обогащение руд. 2010. № 3. С. 35 – 38.

96. *Козин В. З., Тихонов О. Н.* Опробование, контроль и автоматизация обогатительных процессов. – М.: Недра, 1990. – 343 с.

97. *Sona M., Dube J-S.*, Sampling particulate matter for analysis – Controlling uncertainty and bias using the theory of sampling. *Analytica Chimica Acta* 1185 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.aca.2021.338982>.

98. *Pitard F.* Correct sampling systems and statistical tools for metallurgical processes // XXVII International Mineral Processing Congress. Santiago, Chile, 2014. Chap. 15. P. 1.

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

100. *Морозов Ю. П.* Проектирование обогатительных фабрик. Часть 2. Выбор и расчет технологического оборудования: учебник для вузов / Ю. П. Морозов; Урал. гос. горный ун-т; ООО «Таилс КО». – Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2014. – 266 с.

101. ГОСТ 11.004-74. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения. М.: Изд-во стандартов, 16 с.

102. *Козин В. З., Водовозов К. А.* Причины положительных невязок товарного баланса на обогатительных фабриках. Обогащение руд. 2013. № 2. С. 27 – 31.

103. *Chunyu Song, Kailin Hu, Ping Li.* Modeling and scheduling optimization for bulk ore blending process // *Journal of Iron and Steel Research, International*. 2012. Vol. 19, Iss. 9, September. P. 20 – 28.

104. *Коган Г. Н.* Применение метода дисперсионного анализа для оценки погрешностей процесса сокращения проб, содержащих благородные металлы. Обогащение руд. 1975. № 6. С. 36 – 38.

105. *Воларович Г. П., Иванова В. Н.* (ред.) Методика разведки золоторудных месторождений // М., ЦНИГРИ, 1991. – 262 с.

106. *Козин В. З., Комлев А. С.* Повышение качества опробования на обогатительных фабриках // *Инновационные технологии обогащения минерального и техногенного сырья: материалы научно-технической конференции*. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. С. 7 – 9.

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

108. *Козин В. З., Комлев А. С.* О разработке современного стандарта на опробование руд и продуктов обогащения // Обогащение руд, № 2. 2016. С. 27 – 32.
109. *Комлев А. С.* Особенности содержания и применения требований государственного стандарта на методы отбора и подготовки проб руд и концентратов цветных металлов // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2017. С. 111 – 123.
110. *Плаксин И. Н.* Опробование и пробирный анализ. – М.: Metallurgizdat, 1947. – 267 с.
111. *Краснов Д. А.* Теоретические основы и расчетные формулы определения веса проб. – М.: Недра, 1969. – 126 с.
112. *Richards A. H.* Ore dressing / 1901, vol. 11, p. 85.
113. *Gy. P.* Sampling of Particulate Material: Theory and Practice. Elsevier: Amsterdam, 1979 and 1982, 431 p.p.
114. *Richard Minnitt, Kim H. Esbensen.* Pierre Gy's development of the Theory of Sampling: a retrospective summary with a didactic tutorial on quantitative Sampling of one-dimensional lots. [https // www.researchgate.net/publication / 314234218](https://www.researchgate.net/publication/314234218)
115. *Holmes, R. J.* Challenges of developing ISO sampling standards. Fifth World Conference on Sampling & Blending. Conference Proceedings, Gecamin Ltda, 2011, p. 57 – 63.
116. *Esbensen, K. H, Minkinen, P.* Illustrating Sampling standards – How to guarantee complete understanding and TOS – compliance? Fifth World Conference on Sampling & Blending, Conference Proceedings, Gecamin Ltda, 2011, p. 383 – 392.
117. *Dihalu, D. S. Geelhoed, B. A.* Critique of Gy's Sampling Theory. Published 2012. Computer Science [dx.doi.org/10.1255/tosf.11](https://doi.org/10.1255/tosf.11).
118. *Pitard F. F.* Pierre Gy's Sampling Theory and Sampling Practice: Heterogeneity, Sampling Correctness and Statistical Process Control. 2<sup>nd</sup> Edn. CRC Press, 1993.
119. *Geelhoed, B.* Approaches in Material Sampling, Delft University Press, 2010. 152 p.p.
120. *Geelhoed, B.* Is Gy's Formula for the Fundamental Sampling Error accurate? Experimental evidence. Minerals Engineering, 2011, 24 (2): p. 169 – 173.
121. *Dihalu D. S, Geelhoed B.* A new multi-axial particle shape factor – application to particle sampling. Analyst, 2011, № 136 (18): 3783 – 8.
122. *Ляпин А. Г.* Инженерно-аналитический контроль технологий добычи и переработки минерального сырья. Горный журнал, 2009, № 4, с. 14 – 16.
123. *Морозов В. В., Столяров В. Ф., Коновалов А. М.* Повышение эффективности управления флотацией с использованием поточных анализаторов состава пульпы. Обогащение руд, 2003, № 4, с. 33-36.
124. *Зайцев В. А., Макарова Т. А., Барков А. В., Бахтияров А. В., Москвин Л. Н.* Неразрушающий контроль состава полиметаллических руд и продуктов обогатительного цикла // Цветные металлы, 2006, № 8, с. 60 – 67.



125. ГОСТ 8.531-2002 ГСИ. Стандартные образцы состава монолитных и дисперсных материалов. Способы оценивания однородности. М.: Изд-во стандартов, 18 с.

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

127. *Козин В. З., Комлев А. С.* Особенности использования автоматических анализаторов массовой доли на обогатительных фабриках // Инновационные технологии обогащения минерального и техногенного сырья: материалы научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. С. 6 – 8.

128. *Козин В. З., Комлев А. С.* Определение случайной погрешности отбора проб при использовании автоматических анализаторов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, № 7. 2017 г.; Екатеринбург, изд-во УГГУ. – С. 107 – 112.

129. *Комлев А. С.* Влияние эффективности усреднения пробы на случайную погрешность сокращения // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XVII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2012. С. 222 – 226.

130. *Ramsey M. H., Ellison S.L.R., Rostron P. et al.* Measurement uncertainty arising from Sampling: a guide to methods and approaches – 2 nd edition // Eurachem. 2019. P. 109.

131. *Верхозин С. С.* OLGA: поточный анализатор золота Gekko Systems // Золотодобыча. № 10, 2021.

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

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

134. *Комлев А. С.* Экспериментальное подтверждение наличия и величины вероятной систематической погрешности при опробовании продуктов обогатительных фабрик // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXI Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2016. С. 48 – 50.

135. *Комлев А. С., Богданов В. И., Фалькович Е. С.* Преимущества отбора проб вторичного драгосодержащего сырья комбинированным способом // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXI Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2016. С. 42 – 48.

136. *Алимов Ю. И., Шаевич А. Б.* Методологические особенности оценивания результатов количественного химического анализа // Журнал аналитической химии, № 10. 1988. С. 1893-1916.

137. *Барский Л. А., Козин В. З.* Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. М.: Недра, 1978. 476 с.

138. *Cleary P. W., Robinson G. K.* Sampling of cohesive bulk materials by falling stream cutters // *Chemical Engineering Science*. 2011. Vol. 66, Iss. 17. P. 3991 – 4003.

139. Методика опробования отходов, содержащих драгоценные (благородные) металлы. – Екатеринбург, Таилс КО, 2002. – 21 с.

140. *Козин В. З., Комлев А. С.* Методические погрешности опробования на обогатительных фабриках // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 7. 2015 г.; Екатеринбург, изд-во УГГУ. – С. 101 – 105.

141. *Ступакова Е. В.* Сравнительный анализ коэффициентов формул расчета фундаментальной погрешности опробования // *Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXVIII Международной научно-технической конференции*. Екатеринбург: Изд-во ООО «Типография «Форт Диалог», 2023. С. 93 – 97.

142. *Литвинцев В. С., Пономарчук Г. П., Ятлукова Н. Г. и др.* Закономерности распределения золота в илово-глинистых фракциях природных и техногенных образований // *Проблемы освоения георесурсов российского Дальнего Востока и стран АТР: Материалы 3-й международной научной конференции*. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2006. С. 68 – 76.

143. *Петров С. В., Бедерова Л. Л., Бороздин А. П.* К методике достоверного определения содержания благородных металлов в пробах с крупными выделениями самородных металлов // *Обогащение руд* № 4. 2015. С. 44 – 48.

144. *Романчук А. И., Никулин А. И., Жарков В. В., Коблов В. В.* Технология и технические средства для извлечения свободного золота из проб золотосодержащих руд // *Горный журнал*. 2003. № 12. С. 79 – 83.

145. *Комлев А. С.* Условия выполнения принципов правильного опробования // *Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXVIII Международной научно-технической конференции*. Екатеринбург: Изд-во ООО «Типография «Форт Диалог», 2023. С. 85 – 93.

146. *Локонов М. Ф., Петрова М. И., Рейнгардт Е. П.* Методика подготовки для анализа проб руды, содержащей интерметаллические соединения платиновых металлов // *Обогащение руд*. 1971. № 2. С. 44 – 47.

147. *Козин В. З.* Исследование руд на обогатимость: учебное пособие / Урал. гос. горный университет. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. 380 с.

148. *Козин В. З.* О погрешностях измерения масс, массовых долей и масс ценных компонентов на обогатительных фабриках // *Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXI Международной научно-технической конференции*. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2016. С. 3 – 6.

149. *Комлев С. Г., Комлев А. С., Хамидулин И. Х., Литвинов А. А.* Исследование возможностей получения очищенного кварцевого продукта из хвостов процесса выщелачивания серпентинита // *Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXI Международной научно-технической конференции*. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2016. С. 290 – 294.

150. *Комлев А. С.* Организация опробования исходного сырья и отходов аффинажного производства // *Материалы Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья»*. Екатеринбург: Издательство «Форт Диалог-Исеть», 2006, – С. 11 – 18.

151. *Савицкий Г. А.* Ветровая нагрузка на сооружения // Москва: Стройиздат, 1972. – 111 с.

152. ГОСТ 12166-66. Руды цветных металлов. Нормы точности определения массы.

153. *Цемехман Л. Ш., Фомичев В. Б., Кайтмазов Н. Г. (ред.)* Атлас минерального сырья, технологических промышленных продуктов и товарной продукции ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» / М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2010. – 332 с.

154. *Глазатов А. Н., Лукашова М. В., Степаненко В. М., Рябушкин М. И., Данченко Э. В.* Совершенствование метода опробования и подготовки проб к анализу шлаков никелевых печей // *Цветные металлы*. 2011. № 8/9. С. 182 – 188.

155. *Глазатов А. Н., Цемехман Л. Ш., Лукашова М. В., Ерошевич С. Ю., Лазарев В. И.* Усовершенствование методики опробования отвального шлака печей Ванюкова на Медном заводе ОАО «ГМК «Норильский никель» // *Цветные металлы*. 2012. № 10. С. 39 – 44.

156. *Комлев А. С.* Составление и использование товарного баланса обогатительной фабрики // *ГИАБ*. – 2021. – № 11 – 1. – С. 276 – 284.

157. *Козин В. З., Комлев А. С.* Форма и типичные ошибки товарных балансов обогатительных фабрик // *Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXVII Международной научно-технической конференции*. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2022. С. 3 – 8.

158. *Козин В. З., Комлев А. С., Водовозов К. А.* Погрешности технологического баланса на обогатительных фабриках // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 5. 2017 г.; Екатеринбург, изд-во УГГУ. – С. 74 – 80.

159. *Кудрявцев Ю. А.* Погрешности опробования при эксплуатации Советского золоторудного месторождения // *Геология и минеральные ресурсы Красноярского края: сб. ст.* Красноярск, 1972.

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

161. *Комлев А. С.* Оценка соответствия точки опробования требованиям стандартов // *Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXIV Международной научно-технической конференции*. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2019. С. 36 – 41.

162. СТ РК 2200-2012 (СТ СЭВ 4523-84) «Руды хромовые. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения содержания влаги».

163. СТ 29-1904-16-Ф-л-16-2015 «Руда хромовая Донского горно-обогатительного комбината – филиала АО «ТНК «Казхром»».

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

165. Куликов А. А. Опробование золотоносных конгломератов. – Новосибирск: Наука, 1981. – 136 с.

166. Cabri L. J., McMahon G. SIMS analysis of sulfide minerals for Pt and Au: methodology and Relative Sensitivity Factors (RSF) / Canadian Mineralogist. – 1995. – № 33. – P. 349 – 359.

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

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

169. Азарян А. А., Вилкул Ю. Г., Колосов В. А. Оперативный контроль качества минерального сырья // Горный журнал. – 2005. – № 5.

170. ГОСТ 17260-87. Ферросплавы, хром и марганец металлические. Общие требования к отбору и подготовке проб для химического анализа. М.: Изд-во стандартов.

171. Калинин В. П., Санакулов К. С., Халматов М. М. и др. Опробование золотосодержащих флюсовых руд // Горный вестник Узбекистана. – 2003. № 2. – С. 56 – 59.

172. Козин В. З., Комлев А. С. Использование результатов ураганных проб в балансовых расчетах на обогатительных фабриках // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XX Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2015. С. 3 – 6.

173. Дополнительный технологический регламент по реконструкции ЗИФ ОАО «Высочайший» для переработки руды месторождения «Голец Высочайший» по гравитационно-флотационной схеме обогащения // ОАО «Иргиредмет». Иркутск, 2011.

174. Lotter N. O., Kowal D. L., Tuzun M. A., Whittaker P. J., Kormos L. Sampling and flotation testing of Sudbury Basin drill core for process mineralogy modeling // Minerals Engineering. 2003. Vol. 16, iss. 9. P. 857–864.

175. Карпов Ю. А., Савостин А. П. Методы пробоотбора и пробоподготовки / М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 243 с.

176. Иванов В. А., Цымбулов Л. Б., Миронов Г. П., Цемехман Л. Ш., Глазатов А. Н. Совершенствование методик опробования медно-никелевого фанштейна в расплавленном и твердом состоянии на металлургических предприятиях РАО «Норильский никель» // Обогащение руд, № 2, 2001 г.

177. Козин В. З., Комлев А. С. Расчет фундаментальной погрешности отбора проб // ГИАБ. – 2021. – № 11 – 1. – С. 265 – 275.

178. Комлев А. С. Комбинированный способ опробования продуктов обогатительных фабрик // Научные основы и практика переработки руд и

техногенного сырья: Материалы XIX Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2014. С. 14 – 21.

179. *Козин В. З., Комлев А. С.* Асимметрия распределений массовой доли опробуемого компонента в точечных пробах // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, № 5. 2022 г.; Екатеринбург, изд-во УГГУ. – С. 77 – 87. (англ).

180. РМГ 61-2003. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа.

181. ГОСТ 15934.10-82. Концентраты медные. Методы определения золота и серебра.

182. ГОСТ 15934.11-82. Концентраты медные. Метод определения кобальта.

183. ГОСТ 11.004-74. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения. М.: Изд-во стандартов, 16 с.

184. *Cleary P. W., Robinson G. K.* Sampling of cohesive bulk materials by falling stream cutters // Chemical Engineering Science. 2011. Vol. 66, Iss. 17. P. 3991 – 4003.

185. *Mucha J., Szuwarzysk M.* Sampling errors and their influence on accuracy of zinc and lead content evaluation in ore from the Trzebieonka mine (Silesian–Cracow Zn–Pb ore district, Poland) // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 2004. Vol. 74, Iss. 1. P. 165 – 170.

186. *Hassell D. C., Bowman E. M.* Process analytical chemistry for spectroscopist // Appl. Spectrosc. 1998. Vol. 52, No. 1. P. 18A–29A.

187. *Adams M. D.* Summary of gold Plants and Processers // Advances in gold ore processing / ed. M. D. Adams. 2005. Ch. 41. P. 994 – 1013.

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

189. *Чечотт Г. О.* Опробование и испытание полезных ископаемых / ОНТИ, Ленинград, 1932, с. 73 – 77.

190. *Пожарицкий К. Л.* Опробование месторождений цветных металлов и золота / М.: Metallurgizdat, 1947. 280с.

191. *Краснов Д. А.* Теоретические основы и расчетные формулы определения веса проб / М.: Недра, 1969. 126 с.

192. *Никитенко Е. М., Евтушенко М. Б., Юшина Т. И.* Совершенствование пробирного анализа руд Дегдеканского месторождения // Обогащение руд. 2019. № 1. С. 34 – 38.

193. *Ступакова Е. В.* Определение погрешностей стандартных образцов состава руд золотосодержащих. Известия вузов. Горный журнал, № 6, 2019, С. 136 – 143.

194. *Engströrn K., Esbensen K. H.* Evaluation of sampling systems in iron concentrating and pelletizing processes – Quantification of Total Sampling Error (TSE) vs. process variation // Minerals Engineering V. 116, 15 January 2018, p. 203 – 208.

195. *Lotter N. O., Evans C. L., Engstrom K.* Sampling – A key tool in modern process mineralogy // Minerals Engineering. V. 116, 15 January 2018. p. 196 – 202.

196. *Napier-Munn T. J., Whiten W. J., Faramarzi F.* Bias in manual Sampling of rock particles // *Minerals Engineering*. V. 153., 1 July, 2020, article 106260.
197. *Gleeson D.* Getting to the core // *International Mining*. February 2019. p. 64 – 68.
198. *Rozendal A., Le Rous S. G., du Plessis A., Philander C.* Grade and product quality control by microCT scanning of the world class Namakwa Sands Ti-Zr placer deposit West Coast, South Africa: An orientation study // *Minerals Engineering* V116, 15 January 2018, P. 152 – 162.
199. *Богацкий В. В.* Влияние качества и размера проб на точность результатов разведки полезных ископаемых // *Вопросы опробования рудных месторождений при разведке и эксплуатации*. М.: Госгеолтехиздат. 1962. С. 16 – 27.
200. *Фомин Я. И.* Распределение марганца и фосфора в рудах Никопольского бассейна // *Обогащение руд*. 1965. № 2. С. 10 – 17.
201. *Карпенко Н. В., Голубева Г. П., Сахарников В. Н.* О законе распределения вероятностей содержаний благородных металлов в рудах и продуктах обогащения // *Обогащение руд*. 1984. № 1. С. 44 – 47.
202. *Гарифулин И. Ф., Видуцкий М. Г., Мальцев В. А., Пургин А. П.* О расчете сложных схем обогащения минерального сырья / *Горный журнал*. № 10. 2021.
203. *Moore P.* Making of elementary. *International Mining*. February 2018. P. 10 – 17.
204. *Комлев А. С.* Теоретическое обоснование параметров работы дискового сократителя // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал* № 4, 2010 г.; Екатеринбург, изд-во УГГУ. – С. 96 – 101.
205. *Кавчик Б. К.* Оптимальная схема обработки проб для сокращения трудоемкости работ и повышения эффективности разведки // *Золотодобыча*. 2021. № 1 (266). С. 40 – 41.
206. *Козин В. З., Комлев А. С.* Неоднозначность вероятной систематической погрешности опробования // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 5. 2015 г.; Екатеринбург, изд-во УГГУ. – С. 112 – 116.
207. *Комлев А. С.* Экспериментальное определение вероятной систематической погрешности при отборе проб продуктов обогащения комбинированным способом // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 6. 2016 г.; Екатеринбург, изд-во УГГУ. – С. 84 – 90.
208. *Комлев А. С.* Условия достоверного определения массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 5. 2019 г.; Екатеринбург, изд-во УГГУ. – С. 63 – 74.
209. ГОСТ 15934.1-91. Концентраты медные. Методы определения меди.
210. ГОСТ 15934.12-80. Концентраты медные. Методы определения висмута.
211. *Комлев А. С.* Условия появления методической погрешности опробования // *Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXIII Международной научно-технической конференции*. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2018. С. 82 – 87.

212. Гмызина Н. В., Зубков А. А. Обогащение и комплексное использование сталеплавильных шлаков // Материалы VII Конгресса обогатителей стран СНГ. – М.: Альтекс, 2009. – Т. II. – С. 67 – 68.

213. Козин В. З., Комлев А. С., Ступакова Е. В. Поправочный коэффициент к формуле погрешности сокращения проб // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, № 1. 2023 г.; Екатеринбург, изд-во УГГУ. – С. 66 – 77.

214. Фалькович Е. С., Комлев А. С. Оптимальный способ опробования потока пульпы // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XVIII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2013. С. 197 – 201.

215. Комлев А. С. Изучение возможности снижения случайной погрешности сокращения пробы // Материалы международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». Екатеринбург: Издательство «Форт Диалог-Исеть», 2007. – С. 117 – 122.

216. Комлев А. С. Совершенствование процесса опробования пульпообразных продуктов // Материалы XVI международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». Екатеринбург: Издательство «Форт Диалог-Исеть», 2011. – С. 6 – 10.

217. Морозов Ю. П., Комлев А. С. Совершенствование оборудования для сокращения и отбора проб. // Международное совещание «Плаксинские чтения – 2007» г. Апатиты. – Т. 1, С. 197 – 200.

218. ТУ 5726-002-11496665-97. Кварцевые концентраты из природного кварцевого сырья.

219. Таршис М. Ю. Теоретические основы и методология создания эффективных аппаратов с эластичными рабочими элементами для смешивания сыпучих материалов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Ярославль, 2009. – 27 с.

220. Орлов С. Л., Мусаев В. В., Чинова Н. Б., Пушиной Е. А. и др. Повышение эффективности извлечения золота из руд месторождения «Воронцовское» // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XVII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2012. С. 62 – 66.

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

222. Козин В. З., Комлев А. С., Волков П. С. Эффективность использования операций обогащения в схемах подготовки проб // Известия высших учебных заведений. Горный журнал, № 3. 2017 г.; Екатеринбург, изд-во УГГУ. – С. 83 – 87.

223. Козин В. З., Морозов Ю. П., Афанасьев А. И., Нестерова Т. В., Тюрина Г. Л. Типоразмерный ряд электромеханических сократителей проб для продуктов, содержащих благородные металлы // Труды Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика разведки и переработки руд и техногенного сырья с извлечением благородных металлов». Екатеринбург, 2002. – С. 70.

224. *Комлев А. С.* Обоснование соответствия дискового сократителя требованиям нормативной документации // Известия высших учебных заведений. Горный журнал № 4, 2010 г.; Екатеринбург, изд-во УГГУ. – С. 79 – 83.

225. *Комлев А. С.* Совершенствование конструкции и режима работы дискового сократителя. // Материалы международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». Екатеринбург: Издательство «Форт Диалог-Исеть», 2008. – С. 175 – 179.

226. *Комлев А. С.* Снижение погрешности сокращения и отбора проб при использовании усовершенствованного дискового сократителя // Материалы международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». Екатеринбург: Издательство «Форт Диалог-Исеть», 2007. – С. 114 – 117.

227. *Комлев А. С.* Закономерности процесса сокращения в дисковом сократителе // Материалы международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». Екатеринбург: Издательство «Форт Диалог-Исеть», 2009. – С. 81 – 87.

228. *Комлев А. С.* Определение параметров работы дискового сократителя // Материалы международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». Екатеринбург: Издательство «Форт Диалог-Исеть», 2009. – С. 72 – 81.

229. *Романчук А. И., Жарков В. В., Богомолов В. А.* Опыт подготовки проб руд со свободным золотом // VI Конгресс обогатителей стран СНГ. Материалы Конгресса, том I. – М.: Альтекс, 2007. – С. 176, 177.

230. *Пелевин А. Е., Мушкетов Ант. Андр.* Раскрытие породных минералов в стадиях измельчения титаномагнетитовой руды Гусевогорского месторождения // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XX Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2015. С. 38 – 44.

231. *Турдахунов М. М., Щерба В. Д., Епрынцев В. В., Малащенко А. И., Букейханов Д. Г., Петрович С. И., Файзулин М. А., Стукалова Н. Г.* Методы прогнозирования показателей работы обогатительных фабрик на примере ОФ АО «ССГПО» // Обогащение руд, № 2, 2005. С. 22 – 24.

232. *Александрова Т. Н., Александров А. В., Литвинова Н. М., Богомяков Р. В.* Обоснование и разработка методов снижения потерь при обогащении золотосодержащих глинистых россыпей Хабаровского края // Физ.-техн. пробл. разработки полез. ископ. 2013. № 2. С. 182 – 190.

233. *Верхозин С. С.* Золотодобыча в Австралии // Золотодобыча, № 6, 2014 г. С. 33 – 37.

234. *Kahn H., Antoniassi J., Shimizu V., Uliana D.* X-ray diffraction cluster analysis and automated mineralogy of Sossego copper ore, Brazil // XXVII international Mineral Processing Congress. Santiago, Chile. 2014. Chap. 14, P. 229 – 239.

235. *Uhlig S.* Process control by modern X-ray fluorescence (XRF) analysis // Proc. of the XX international mineral processing congress, Germany, – 1997, p. 175 – 182.



236. Бурмистенко Ю. Н., Рывкин Б. Н., Феоктистов Ю. В. О влиянии излучения продуктов фотоделения урана и тория на результаты гамма-активационного анализа. – Радиационная техника. Вып. 24. М.: Энергоиздат, 1982, с. 72 – 77.

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

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

239. Козин В. З., Комлев А. С. Комбинированный способ отбора проб от руд и продуктов обогащения // Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья (Плаксинские чтения-2016): Материалы международной конференции. Санкт-Петербург: Издательский дом «Руда и металлы», 2016. С. 516 – 518.

240. Гераськин В. М. Развитие автоматизации и информационных технологий на Гайском ГОКе. Горный журнал, 2019, № 7. С. – 40 – 42.

241. Морозов В. В., Топчаев В. П., Улитенко К. Я., Ганбаатар В., Дэлгэрбат Л. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых Изд. «Руда и металлы», М., 2013, 508 с.

242. Абраров А. Д., Дацкевич М. С., Чикильдин Д. Е., Федотов Д. Н. Система оптимизации процесса коллективной флотации Талнахской обогатительной фабрики на основе алгоритмов машинного обучения. Цветные металлы: 2022, № 2, С. 87 – 93. DOI 10.17580/tsm.2022.02.11.

243. Якимов И. С., Безрукова О. Е., Дубинкин П. С., Шиманский А. Ф. Рентгеновский технологический контроль на предприятиях горно-металлургического комплекса цветной металлургии. Цветные металлы, 2019, № 9, С. 56 – 62. DOI 10.17580/tsm.2019.09.09.

244. Варламова С. А., Затонский А. В., Федосеева К. А., Исследование чувствительности к освещению метода бликового распознавания пен калийных флотационных машин. Обогащение руд. 2021, № 6, С. 29 – 33.

245. Федотов П. К., Сенченко А. Е., Федотов К. В., Бурдонов А. Е. Влияние способа разрушения руды на эффективность перколяционного выщелачивания. Обогащение руд. 2021, № 2, С. 15 – 20.

246. Пелевин А. Е. Обогащение слабомагнитных минералов в валковых сепараторах с системой из постоянных магнитов // Горный Информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 11 – 1. С. 155 – 168. DOI:10.25018/0236\_1493\_2022\_111\_0\_155.

247. Грейверт Т. И., Баркан В. Ш., Косовер В. М. Переработка платиноидосодержащих шламов методом двустадийной жидкофазной сульфатизации // Цветные металлы. 1978. № 3. С. 8 – 11.

248. Комлев А. С. Практика использования сократителей типа СМД-2 в процессах опробования // Материалы международной научно-технической

конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». Екатеринбург: Издательство «Форт Диалог-Исеть», 2010. – С. 39 – 44.

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

250. *Комлев А. С., Фалькович Е. С.* Закономерности изменения показателей сокращения проб в дисковых сократителях // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XVIII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2013. С. 78 – 85.

251. *Комлев А. С.* Технологический расчет дисковых сократителей // Инновационные технологии обогащения минерального и техногенного сырья: материалы научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. С. 121 – 139.

252. *Звягинцев О. Е.* Аффинаж золота, серебра и металлов платиновой группы. – М.: Metallurgizdat, 1945. – 244 с.

253. Сократитель дисковый типа «СОД-2-П2». Руководство по эксплуатации. Общие положения. – Екатеринбург: Таилс КО, 2017. – 32 с.

254. Сократитель дисковый типа «СОД-2В». Руководство по эксплуатации. Общие положения. – Екатеринбург: Таилс КО, 2010. – 33 с.

255. Сократитель дисковый типа «СОД-2-2». Руководство по эксплуатации. Общие положения. – Екатеринбург: Таилс КО, 2017. – 26 с.

256. Сократитель дисковый «СОД-2-200В-2П4». Руководство по эксплуатации. Екатеринбург: Таилс КО, 2017. – 45 с.

257. *Бочаров В. А., Игнаткина В. А., Юшина Т. И.* Флотационное обогащение полезных ископаемых: учебник / М.: Издательство «Горная книга», 2017. – 840 с.

258. *Козловский Е. А. (ред.)* Горная энциклопедия: в 5 т. – М.: Сов. энциклопедия, 1984 – 1991.

259. *Комлев С. Г.* Основы обогащения полезных ископаемых: учебное пособие / С. Г. Комлев; Урал. гос. горный ун-т. – 5-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. – 153 с.

260. *Романович И. Ф., Кравцов А. И., Филиппов Д. П. и др.* Полезные ископаемые. – М.: Недра, 1982. – 384 с.

261. Станция опробования пульпы типа «СОП-1П». Руководство по эксплуатации. Екатеринбург: Таилс КО, 2010. – 54 с.

262. *Козин В. З., Ступакова Е. В., Комлев А. С.* Теоретические основы и оборудование комбинированного высокочастотного способа отбора и подготовки проб на обогатительных фабриках // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXVII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2022. С. 50 – 57.

263. Станция опробования пульпы типа «СОП-1(2)П». Руководство по эксплуатации. Екатеринбург: Таилс КО, 2014. – 29 с.

264. *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.

265. ГОСТ 8731-74. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Технические требования.

266. ГОСТ 8732-78. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент.

267. ГОСТ 8696-74. Трубы стальные электросварные со спиральным швом общего назначения. Технические условия.

268. ГОСТ 10706-76. Трубы стальные электросварные прямошовные. Технические требования.

269. Станция опробования конвейерная с непрерывным режимом работы типа «СО-КН». Руководство по эксплуатации. Екатеринбург: Таилс КО, 2013. – 37 с.

270. *Блатов И. А.* Обогащение медно-никелевых руд. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 1998. – 218 с.

271. Сократитель дисковый электромеханический и способ сокращения и отбора проб с его использованием. Пат. РФ на изобретение № 2347205 / Морозов Ю. П., Козин В. З., Комлев А. С. /№ 2007127529; заявл. 18.07.2007 г.; опубл. 20.02.2009 г., бюл. № 5. 5 с.

272. Сократитель дисковый конический. Пат. РФ на полезную модель № 115067 / Комлев А. С., Морозов Ю. П., Козин В. З., Фалькович Е. С. / № 2011135221; заявлено 23.08.2011 г.; опубл. 20.04.2012 г., 2 с.

273. Станция опробования пульпы и способ опробования потока пульпы с ее использованием. Пат. РФ на изобретение № 2511377 / Морозов Ю. П., Козин В. З., Комлев А. С., Фалькович Е. С. /№ 2011154028; заявлено 28.12.2011 г.; опубл. 07.02.2014 г., бюл. № 10. 7 с.

274. Постановление Правительства Российской Федерации от 1 декабря 2009 г. N 982 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии» (с изменениями на 4 июля 2020 года).

275. ЕАЭС. Декларация № RU Д-RU.PA01.B.29718/21.

276. ГОСТ Р. Сертификат соответствия № РОСС RU.НА39.Н00129. Пробоотборник щелевой поточный типа «ПЩП».

277. ТУ 3132-005-12282200-2013. Пробоотборник щелевой поточный типа «ПЩП».

278. ГОСТ Р. Сертификат соответствия № РОСС RU.НА39.Н00130. Модуль пробосократительный типа «МП».

279. ТУ 3132-004-12282200-2013. Модуль пробосократительный типа «МП».

280. *Бочаров В. А., Игнаткина В. А.* Технология обогащения золотосодержащего сырья. - М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2003. – 407 с.

281. Ванюков А. В., Уткин Н. М. Комплексная переработка медного и никелевого концентратов. – М.: Металлургия, 1988. – 432 с.
282. Адамов Э. В. Обогащение руд цветных металлов. – М.: Издательство МИСиС, 2011. – 709 с.
283. Бочаров В. А., Манцевич М. И., Сидельникова Г. В. Современные проблемы комплексной переработки природного и техногенного сырья: материалы международных Плаксинских чтений. – СПб.: Издательский дом «Роза мира», 2005. – С. 30 – 35.
284. Амирова Е. В., Острожная Е. Е., Храмова И. Н. Добыча и переработка руд цветных металлов / Норильский индустриальный институт. – Норильск, 2000. – С. 46 – 47.
285. Куликов А. А. Опробование золотоносных конгломератов // Изд. Наука, г. Новосибирск. 1981. 136 с.
286. Шеметов П. А., Быков В. Н. Управление качеством рудного потока в карьере Мурунтау // Горный вестник Узбекистана. – 2001. – № 2. – С. 31 – 35.
287. Engströrn K. Esbensen K. H. Evaluation of sampling systems in iron concentrating and pelletizing processes – Quantification of Total Sampling Error (TSE) vs. process variation // Minerals Engineering, V. 116, 15 January 2018, pp. 203 – 208.
288. Napier-Munn T. J., Whiten W. J., Faramarzi F. Bias in manual Sampling of rock particles // Minerals Engineering, V. 153, 1 July 2020, article 106260.
289. Газалеева Г. И., Цыпин Е. Ф., Червяков С. А. Рудоподготовка: дробление, грохочение, обогащение. – Екатеринбург: ООО «УЦАО», 2014. – 914 с.
290. Богданов О. С. (ред.) Справочник по обогащению руд. Основные процессы. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1983, 381 с.
291. Богданов О. С. (ред.) Справочник по обогащению руд. В 3-х т. Т. 3. «Обогатительные фабрики». – М.: Недра, 1974, 408 с.
292. Изюмко В. М. Технологическая минералогия и оценка руд. – СПб.: Наука, 1997. – 581 с.
293. Адамов Э. В. Основы проектирования обогатительных фабрик. – М.: Издательство МИСиС, 2012. – 540 с.
294. Станция опробования пульпы типа «СОП-ПС». Руководство по эксплуатации. Общие положения. - Екатеринбург: Таилс КО, 2020. – 34 с.
295. Андреев Е. Е., Львов В. В., Тарасов Ю. Д., Коваль О. Ю. Применение компьютерных программ для расчетов технологических схем обогащения. Обогащение руд. 2008. № 5. С. 18 – 23.
296. Богданов О. С., Максимов И. И. и др. Теория и технология флотации. - М.: Недра, 1990. – 363 с.
297. Саградян А. Л., Суворовская Н. А. Контроль технологического процесса флотационных фабрик. Учебное пособие для производственно-технического обучения рабочих. – М.: Недра, 1962 г. – 427 с.
298. Федотов П. К., Сенченко А. Е., Федотов К. В., Бурдонов А. Е. Результаты исследования руды золоторудного месторождения на обогатимость гравитационными методами // Цветные металлы. 2021. № 2. С. 8 – 16. DOI: 10.17580/tsm.2021.02.01.

299. Белов А. С., Шендерович Е. М. Опыт проектирования крупнейших в России предприятий по добыче и обогащению медных руд // Обогащение руд. 2021. № 6. С. 48 – 52. DOI: 10.17580/or.2021.06.08.
300. ГОСТ 12822-80. Фланцы свободные на приварном кольце.
301. ГОСТ 12820-80. Фланцы плоские стальные приварные.
302. ГОСТ 12821-80. Фланцы стальные приварные встык.
303. СТП 7.4.3-09-02. Сильвинит молотый – сырье для производства хлористого калия на СКРУ-2. Стандарт предприятия.
304. СТП 7.4.3-12-02. Сильвинит молотый для производства хлористого калия на БКПРУ-4. Стандарт предприятия.
305. Проект технологических линий для отбора и подготовки проб дробленой руды на конвейерах № 101-1, 101-2 И 102-1, 102-2 СОФ СКРУ-2 ОАО «Сильвинит». Том 1. Разделы «Технологические решения», «Инженерные сети и системы», «Промышленная безопасность, охрана труда и промышленная санитария». Пояснительная записка 081-239-ПЗ. – ООО «Техком-Урал», гл. инж. проекта Комлев А. С., 2009. – 192 с.
306. ГОСТ 21.408-93. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов.
307. Андреев А. В., Белов А. В. Экспортный потенциал минерально-сырьевой базы Дальневосточного федерального округа // Современные проблемы комплексной и глубокой переработки минерального сырья природного и техногенного происхождения (Плаксинские чтения – 2022). – Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2022. – С. 74 – 78.
308. Польшкин С. И. Обогащение руд и россыпей редких и благородных металлов. – М.: Недра, 1987. – 428 с.
309. Бочаров В. А., Игнаткина В. А., Абрютин Д. В. Технология переработки золотосодержащего сырья. – М.: Издательство МИСиС, 2011. – 327 с.
310. Сентемова В. А. Проблемы повышения качества концентратов на железорудных обогатительных фабриках // Горный журнал. 1997. № 4.
311. «Делитель ротационный LMS-MP «Larmann». Руководство по эксплуатации.
312. Киреева О. В., Дресвянкина Т. П., Назаренко Л. Н. Совершенствование технологии обогащения лежалых отвальных шлаков с применением ультратонкого измельчения // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XVIII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2013. С. 71 – 74.
313. Шехирев Д. В., Смайлов Б. Б. Кинетика извлечения частиц различного минерального состава при флотации свинцово-цинковой руды // Обогащение руд, № 2. 2016. С. 20 – 27.
314. Абрамов А. А. Флотационные методы обогащения. – М.: Недра, 1993. – 442 с.
315. Хофман Р. Строение твердых тел и поверхностей. – М.: Мир, 1990.
316. Абрамов А. А. Технология обогащения окисленных и смешанных руд цветных металлов. – М.: Недра, 1986. – 304 с.

317. *Сорокин М. М.* Флотация. Химические основы флотации. – М.: МИСиС, 1998. – 128 с.

318. *Васильев А. М., Фролов В. В.* Усовершенствование методики определения гранулометрических характеристик мелкозернистых материалов на ситовых анализаторах различной конструкции // Обогащение руд, № 3. 2016. С. 41 – 46.

319. *Гмызина Н. В.* Интенсификация процесса измельчения конвертерных шлаков // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. – Магнитогорск, 2009. – № 3 (27) – С. 13 – 14.

320. *Лобанов В. Г., Абрахманов И. С., Терехов П.* Влияние ПАВ на показатели измельчения золотосодержащей руды // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXI Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2016. С. 266 – 268.

321. *Морозов Ю. П.* Повышение комплексности использования сульфидных руд на основе дополнительного извлечения золота / Урал. гос. горный ун-т; ООО «Таилс КО». – Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2015. 61 с.

322. *Федотов К. В., Никольская Н. И.* Проектирование обогатительных фабрик: Учебник для вузов. – М.: Издательство «Горная книга», 2012. – 536 с.: ил. (Обогащение полезных ископаемых)

323. *Разумов К. А.* Проектирование обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1970 г. 592 с.

324. *Комлев А. С.* Влияние вероятной систематической погрешности на определение гранулометрического состава продуктов обогащения // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XX Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2015. С. 186 – 191.

325. *Салохеймо К.* Новое поколение анализаторов размера частиц в пульпе // Цветные металлы, № 2. 2010. С. 82 – 88.

326. *Машевский Г. Н., Петров А. В., Мойланен Я. и др.* Принципы компьютерного управления флотационным процессом на базе новой продукции Outotek – видеосистемы FrothMaster // Цветные металлы. 2010. № 2, Специальный выпуск. С. 89 – 92.

327. Способ автоматического контроля крупности частиц в потоке пульпы. Патент 2517826 РФ / Зимин А. В., Трушин А. А., Бондаренко А. В., Седов А. В. / № 2012145340/28; заявл. 24.10.2012 г.; опубл. 27.05.2014 г.; Бюл. № 15.

328. *Мешалкин С. М.* Краткая характеристика золотомедных месторождений порфирирового типа в провинции Эль Оро (Эквадор) // Золотодобыча, № 1, 2013 г. С. 24 – 28.

329. *Цогтхангай Д., Анисимова О. С., Мамяченков С. В., Набойченко С. С.* Исследование выщелачивания медных концентратов азотной кислотой / Международная НТК «Абишевские чтения-2011», «Гетерогенные процессы в обогащении и металлургии», Караганда, 2011. С. 101 – 103.

330. *Авдохин В. М.* Основы обогащения полезных ископаемых / Т. 1. – М.: Горная книга, 2008. – 417 с.

331. *Авдохин В. М.* Основы обогащения полезных ископаемых / Т. 2. – М.: Горная книга, 2008. – 312 с.
332. *Абрамов А. А.* Технология обогащения окисленных и смешанных руд цветных металлов / М.: Недра, 1986. – 302 с.
333. *Абрамов А. А.* Технология обогащения руд цветных металлов / М.: Недра, 1983. – 360 с.
334. *Париевский Е. В., Дзансолов И. В., Бородина Е. К., Шиловская Г. Г.* Модернизация и увеличение мощности Норильской обогатительной фабрики // Цветные металлы. 2015. № 6. С. 24 – 27. DOI: 10.17580/tsm.2015.06.05.
335. *Комлев А. С.* Корректировка товарного баланса обогатительной фабрики // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Материалы XXVI Национальной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во ООО «Типография Форт Диалог», 2021. С. 132 – 139.
336. *Козин В. З., Комлев А. С.* Балансы металлов на обогатительных фабриках // Обогащение руд, № 2. 2023. С. 9 – 16.
337. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 02.12.2020 г. № 40 «Об утверждении санитарных правил СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда» (Зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2020 г. № 61893).
338. Приказ Минтруда России от 11.12.2020 г. № 887н «Об утверждении Правил по охране труда при обработке металлов» (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 г. № 61951).
339. *Глебова Е. В., Коновалов А. В.* Основы промышленной безопасности. Учебное пособие. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2015. – 171 с.
340. *Саблин С. А.* Машинист мельниц рудообогатительной фабрики: Справ. рабочего / С. А. Саблин. – М.: Недра, 1988. – 144 с.: ил.; 21 см.; ISBN 5-247-00298-9: 45 к.
341. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 29.07.2005 г.).

**Результаты опробования исходных руд  
Талнахской обогатительной фабрики по цветным металлам**

Номер пробы	Номер точек отбора	Дата отбора проб														
		16.11.2015			17.11.2015			18.11.2015			19.11.2015			20.11.2015		
		Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co
11	101	2,03	2,80		1,94	3,02		2,17	2,99	0,096	2,05	3,01	0,090	2,20	2,89	0,098
21	101	2,02	2,80		2,12	3,06		2,18	3,01	0,096	2,06	3,01	0,091	2,20	2,90	0,099
12	102	2,03	2,79		1,96	3,03		2,18	3,00	0,096	2,05	3,02	0,089	2,21	2,89	0,099
22	102	2,04	2,82		2,12	3,05		2,17	3,00	0,095	2,06	3,01	0,090	2,21	2,89	0,099

Номер пробы	Номер точек отбора	Дата отбора проб														
		21.11.2015			22.11.2015			27.02.2016			28.02.2016			28.02.2016		
		Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co
11	101	1,92	2,88	0,083	2,01	3,01	0,088	2,08	2,71	0,089	1,76	2,64	0,080	1,76	2,64	0,080
21	101	1,92	2,89	0,084	2,02	3,01	0,088	2,05	2,68	0,088	1,77	2,65	0,080	1,77	2,65	0,080
12	102	1,92	2,88	0,084	2,01	3,01	0,088	2,07	2,70	0,089	1,75	2,63	0,079	1,75	2,63	0,079
22	102	1,91	2,88	0,083	2,02	3,02	0,088	2,05	2,70	0,089	1,77	2,64	0,080	1,77	2,64	0,080

Номер пробы	Номер точек отбора	Дата отбора проб											
		29.02.2016			01.03.2016			03.03.2016			04.03.2016		
		Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co	Ni	Cu	Co
11	101	2,04	2,81	0,089	1,82	2,79	0,081	1,99	2,58	0,089	1,80	2,76	0,081
21	101	2,04	2,81	0,089	1,83	2,80	0,080	2,00	2,58	0,089	1,82	2,77	0,081
12	102	2,05	2,84	0,089	1,84	2,81	0,080	1,99	2,58	0,089	1,80	2,76	0,081
22	102	2,05	2,84	0,089	1,82	2,79	0,080	1,99	2,57	0,089	1,81	2,78	0,081

**Результаты контрольного опробования исходных руд  
Талнахской обогатительной фабрики по благородным металлам**

Номер пробы	Номер точек отбора	Дата отбора проб															
		16.11.2015				17.11.2015				18.11.2015				19.11.2015			
		Pt	Pd	Au	Ag	Pt	Pd	Au	Ag	Pt	Pd	Au	Ag	Pt	Pd	Au	Ag
11	101									1,28	5,90	0,22	5,90	1,24	6,00	0,25	6,40
21	101									1,27	6,00	0,21	5,80	1,20	5,90	0,20	6,10
12	102									1,30	6,10	0,21	6,30	1,20	5,90	0,21	6,00
22	102									1,30	6,30	0,21	5,80	1,23	5,90	0,22	6,10

Номер пробы	Номер точек отбора	Дата отбора проб											
		20.11.2015				21.11.2015				22.11.2015			
		Pt	Pd	Au	Ag	Pt	Pd	Au	Ag	Pt	Pd	Au	Ag
11	101	1,19	5,60	0,17	6,00	1,29	5,90	0,21	7,00	1,25	5,90	0,20	6,00
21	101	1,17	5,70	0,18	5,90	1,32	5,90	0,21	6,80	1,33	5,80	0,20	6,60
12	102	1,24	5,80	0,18	6,20	1,37	6,00	0,22	6,50	1,24	5,80	0,19	6,60
22	102	1,13	5,60	0,17	5,90	1,35	5,90	0,22	6,00	1,21	5,70	0,20	6,10

Номер пробы	Номер точек отбора	Дата отбора проб											
		27.02.2016				28.02.2016				29.02.2016			
		Pt	Pd	Au	Ag	Pt	Pd	Au	Ag	Pt	Pd	Au	Ag
11	101	1,88	7,80	0,30	7,70	1,62	6,80	0,28	7,20	1,44	6,70	0,27	6,20
21	101	1,83	7,50	0,30	7,40	1,70	7,20	0,29	7,90	1,51	7,00	0,30	6,50
12	102	1,96	7,70	0,34	8,00	1,47	6,50	0,31	7,30	1,42	6,60	0,31	6,30
22	102	1,70	7,40	0,29	7,20	1,60	7,30	0,29	8,40	1,46	6,80	0,27	6,20

Номер пробы	Номер точек отбора	Дата отбора проб											
		01.03.2016				03.03.2016				04.03.2016			
		Pt	Pd	Au	Ag	Pt	Pd	Au	Ag	Pt	Pd	Au	Ag
11	101	1,62	7,10	0,28	6,70	1,18	5,70	0,27	5,40	1,24	6,10	0,28	6,20
21	101	1,73	7,10	0,34	6,50	1,19	5,80	0,21	5,30	1,29	6,30	0,28	6,00
12	102	1,63	7,00	0,31	6,90	1,15	5,40	0,25	5,10	1,26	6,10	0,29	6,00
22	102	1,61	7,00	0,33	6,70	1,22	5,60	0,21	5,00	1,27	6,10	0,25	6,30



Сравнительные результаты опробования  
исходной медно-цинковой руды

Дата	Слив стержневой мельницы		Питание коллективной флотации	
	Медь	Цинк	Медь	Цинк
	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	1,72	4,26	2,25	4,30
	1,88	4,26	2,51	4,12
2	1,85	3,55	2,38	3,75
	1,93	3,54	3,16	3,75
3	1,90	3,45	2,76	3,42
	1,96	3,35	2,77	3,09
4	1,88	3,39	2,03	3,59
	1,88	2,90	2,07	2,78
5	1,82	2,98	1,75	2,87
	1,83	3,16	1,72	3,45
6	1,81	3,82	1,67	3,65
	1,78	3,80	2,07	3,67
7	1,79	3,11	1,79	3,32
	1,47	3,04	1,74	3,05
8	1,70	3,38	1,96	3,82
	1,71	3,51	1,84	3,62
9	1,74	4,23	1,66	3,97
	1,80	4,39	1,89	4,15
10	1,86	3,30	1,85	3,56
	1,69	4,49	1,81	4,44
11	1,71	4,09	1,81	4,32
	1,80	3,55	1,57	3,36
12	1,92	3,87	1,89	3,69
	1,74	3,70	1,83	3,59
13	1,77	3,81	1,69	3,72
	1,66	3,90	1,66	3,87
14	1,61	3,82	1,67	3,79
	1,73	3,95	1,72	3,91
15	1,73	4,07	1,75	4,07
	1,64	4,18	1,58	3,81
16	1,59	4,04	1,76	3,86
	1,65	4,03	2,07	4,58
17	1,64	4,18	1,73	4,17
	1,62	3,93	1,63	4,97
18	1,52	3,67	1,50	3,92
	1,40	3,31	1,65	3,68

	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
19	1,39 1,50	3,30 3,65	1,48 1,56	3,44 4,01
20	1,61 1,53	4,23 4,17	1,73 1,73	4,50 4,23
21	1,64 1,60	4,39 4,35	1,71 1,77	4,26 4,60
22	1,66 1,68	4,22 4,35	1,79 1,92	4,72 4,35
23	1,67 1,64	4,51 4,39	1,81 1,65	4,31 4,20
24	1,67 1,68	4,46 4,13	1,86 1,70	4,59 4,04
25	1,66 1,61	4,04 3,83	2,19 1,73	3,98 3,94
26	1,53 1,66	4,24 3,76	1,58 1,70	3,36 3,12
27	— 1,38	— 3,36	— 1,43	— 3,29
28	1,36 —	3,64 —	1,29 —	3,73 —
29	1,38 1,35	3,73 3,76	1,44 1,28	3,83 3,70
30	1,42 1,60	3,88 3,92	1,38 1,36	3,88 4,31
31	1,28 1,52	3,62 3,70	1,41 1,44	3,55 4,00
32	1,38 1,55	3,70 4,32	1,7 1,73	4,11 4,47
33	1,65 1,69	4,41 4,50	1,76 1,69	4,24 5,05
34	1,47 1,35	3,85 3,45	1,39 1,55	3,95 3,48
35	1,45 1,36	3,73 3,64	1,53 1,44	3,69 3,62
36	1,5 1,65	3,64 4,08	1,81 1,67	3,76 4,42
37	1,79 1,73	4,43 4,41	1,72 2,54	4,06 4,28
38	1,71 1,64	4,02 4,19	1,85 1,74	4,05 5,07

	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
39	1,64 1,49	3,79 3,72	1,67 1,63	3,93 4,13
40	1,46 1,62	3,79 4,06	1,63 1,74	4,12 4,19
41	1,86 1,6	4,14 3,61	1,54 1,57	4,24 4,07
42	1,52 1,93	3,37 4,07	1,57 1,76	3,75 4,26
43	1,65 1,6	3,88 3,84	1,66 1,85	4,43 3,89
44	1,61 1,59	4,24 4,58	1,62 1,89	3,94 4,31
45	1,88 1,59	5,01 4,52	1,67 1,70	4,85 4,34
46	1,66 1,82	4,62 5,05	1,80 2,50	4,42 4,73
47	1,85 1,66	4,10 4,73	1,79 1,77	5,14 4,85
48	1,68 1,54	4,13 4,12	1,84 1,77	4,88 4,21
49	1,84 1,74	4,40 4,30	2,54 3,54	5,90 4,31
50	1,67 1,79	4,58 4,97	1,78 1,91	4,57 5,44
51	1,60 1,65	4,97 5,00	1,63 1,69	4,89 4,76
52	1,73 1,61	4,59 3,61	1,71 1,61	4,96 4,58
53	1,56 1,58	4,57 4,44	1,64 1,63	4,50 5,19
54	1,56 1,53	4,76 4,68	1,69 1,62	4,44 4,84
55	1,49 1,51	5,05 5,03	1,63 1,59	5,70 5,10
56	1,63 1,54	5,08 4,44	1,86 1,68	5,37 5,30
57	1,91 1,54	4,71 4,62	1,33 2,10	4,29 4,55
58	1,52	4,10	1,87	4,36

Результаты расчета параметров опробования товарного медного концентрата  
на медь для поставки в адрес потребителя № 1

Относительная случайная погрешность, %				Доверительный интервал случайной погрешности ( $\pm \Delta\alpha$ ), %	
Отбор цикловых проб	Подготовка пробы	Анализ	Общий результат		
				Для результата	Для разности результатов
Партия от 180 технологических циклов					
0,71	0,0004	0,16	0,73	0,131	0,185
Партия от 240 технологических циклов					
0,62	0,0003	0,14	0,64	0,115	0,162
Партия от 300 технологических циклов					
0,55	0,0003	0,13	0,57	0,103	0,145
Партия от 360 технологических циклов					
0,50	0,0003	0,12	0,51	0,092	0,129
Партия от 420 технологических циклов					
0,47	0,0002	0,11	0,48	0,086	0,122
Партия от 480 технологических циклов					
0,44	0,0002	0,10	0,45	0,081	0,114

Результаты расчета параметров опробования товарного медного концентрата  
на золото для поставки в адрес потребителя № 1

Относительная случайная погрешность, %				Доверительный интервал случайной погрешности ( $\pm \Delta\alpha$ ), г/т	
Отбор цикловых проб	Подготовка пробы	Анализ	Общий результат		
				Для результата	Для разности результатов
Партия от 180 технологических циклов					
3,72	0,29	0,52	3,77	0,75	1,06
Партия от 240 технологических циклов					
3,23	0,25	0,45	3,27	0,65	0,92
Партия от 300 технологических циклов					
2,87	0,23	0,40	2,91	0,58	0,82
Партия от 360 технологических циклов					
2,64	0,21	0,37	2,67	0,53	0,75
Партия от 420 технологических циклов					
2,44	0,19	0,34	2,47	0,49	0,70
Партия от 480 технологических циклов					
2,28	0,18	0,32	2,31	0,46	0,65

Результаты расчета параметров опробования товарного медного концентрата  
на медь для поставки в адрес потребителя № 2

Относительная случайная погрешность, %				Доверительный интервал случайной погрешности ( $\pm \Delta\alpha$ ), %	
Отбор проб от лота	Подготовка пробы	Анализ	Общий результат	Для результата	Для разности результатов
				Лот от 48 технологических циклов	
1,38	0,006	2,2	2,60	0,468	0,660

Результаты расчета параметров опробования товарного медного концентрата  
на золото для поставки в адрес потребителя № 2

Относительная случайная погрешность, %				Доверительный интервал случайной погрешности ( $\pm \Delta\alpha$ ), г/т	
Отбор проб от лота	Подготовка пробы	Анализ	Общий результат	Для результата	Для разности результатов
				Лот от 48 технологических циклов	
7,22	4,15	7,00	10,88	2,18	3,07

### Внедрение технологий опробования за период 2006 – 2023 гг.

#### Оборудование для опробования пульповых продуктов

Объект внедрения	Место в схеме опробования	Количество комплектов оборудования	Тип оборудования
1	2	3	4
ОАО «Святогор» (г. Красноуральск, Свердловская обл.)	Входной контроль	1	МПВ-2
ООО «Амурский гидрометаллургический комбинат» (г. Амурск, Хабаровский край)	Входной контроль	1	СОП-1П
ОАО «Святогор» (г. Красноуральск, Свердловская обл.)	Выходной контроль	6	СОП-1П
ОАО «Южуралзолото Группа Компаний» (г. Пласт, п.г.т. Зауральский, Челябинская обл.)	Входной/ выходной контроль	9	СОП-2П СОП-1П
ЗАО «Золото Северного Урала» (г. Краснотурьинск, Свердловская обл.)	Входной/ выходной контроль	3	СОП-1П МП
ОАО «Ново-Широкинский рудник» (с. Широкая, Газимуро-Заводский район, Забайкальский край)	Выходной контроль	1	СОП-1П
ЗАО «Рудник Александровский» (пос. Давенда, Могочинский район, Забайкальский край)	Входной/ выходной контроль	7	СОП-1П МП
ООО «Коралайна Инжиниринг» (г. Москва)	Входной контроль	2	МП
СП ЗАО «Омсукчанская горно-геологическая компания» (г. Магадан)	Выходной контроль	1	МП
ЗАО ЗДК «Золотая звезда» (пос. Раздолинск, Мотыгинский район, Красноярский край)	Входной/ выходной контроль	3	СОП-1П МП
ТОО «Nova Цинк» (Республика Казахстан)	Выходной контроль	1	СОП-2П
ЗАО «Новоорловский ГОК» (п.г.т. Новоорловск, Агинский район, Забайкальский край)	Входной контроль	2 1	СОП-1П МП
АО «Ковдорский ГОК» (г. Ковдор, Мурманская обл.)	Технологич. контроль	21	ПЩП
ОсОО «КАЗ Минералз Бозымчак» (Кыргызская Республика)	Входной/ выходной контроль	6	СОП-1П МП
ЗАО «Бурибаевский ГОК» (с. Бурибай, Республика Башкортостан)	Входной/ выходной контроль	3	СОП-1П
АО «Серебро Магадана» (п.г.т. Омсукчан, Магаданская обл.)	Выходной контроль	2	СОП-1П

1	2	3	4
АО «RMG Corper» (Грузия)	Входной/ выходной контроль	9	СОП-1П
АО «Варваринское» (Республика Казахстан)	Входной контроль	2 1	СОП-1П СОП-2П
ПАО «Высочайший» (г. Бодайбо, Иркутская область)	Входной контроль	2	СОП-1П
Филиал «Производство полиметаллов» АО «Уралэлектромедь» (г. Кировград, Свердловская обл.)	Входной/ выходной контроль	3	СОП-1П
ПАО «Гайский ГОК» (г. Гай, Оренбургская область)	Выходной контроль	1	СОП-3П
ОАО «Охотская ГТК» (р. п. Охотск, Охотский район, Хабаровский край)	Входной контроль	1	СОП-1П
ТОО «Бакырчикское горнодобывающее предприятие» (Республика Казахстан)	Входной/ выходной контроль	14	СОП-1П ПЩП
АО «Вишневогорский ГОК» (п. г. т. Вишневогорск, Челябинская область)	Выходной контроль	3	СОП-1П
ООО «Золоторудная компания «Майское» (г. Певек, Чаунский район, Чукотский АО)	Входной/ выходной контроль	2	СОП-1П
АО «Иргиредмет» (г. Иркутск)	Входной контроль	1	СОП-1П
ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод» (г. Ревда, Свердловская обл.)	Входной/ выходной контроль	4	СОП-2П
АО «Золото Селигдара» (г. Алдан, Республика Саха (Якутия))	Входной/ выходной контроль	6	СОП-1П
АО «Южно-Верхоянская горнодобывающая компания» (Томпонский район, Республика Саха (Якутия))	Входной контроль	1	СОП-1П
АО «Урупский ГОК» (п. Медногорский, Урупский р-н, КЧР)	Входной/ выходной контроль	2	СОП-1П
ООО «Краснотурьинск Полиметалл» (п. Воронцовка, Краснотурьинский ГО, Свердловская обл.)	Входной/ выходной контроль	18	СОП-1П

## Оборудование для опробования сыпучих продуктов

Объект внедрения	Место в схеме опробования	Количество комплектов оборудования	Тип оборудования
1	2	3	4
Филиал «Производство полиметаллов» АО «Уралэлектромедь» (г. Кировград, Свердловская обл.)	Входной/ выходной контроль	4	СМД-2-300 СОД-2-200В МКП-5 СОД-2-400
ОАО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов» (г. Верхняя Пышма, Свердловская обл.)	Входной/ выходной контроль	3	СД-300 СД-2-300 Линия для опробования сыпучих продуктов
ЗАО «Кыштымский медеэлектролитный завод» (г. Кыштым, Челябинская обл.)	Входной/ выходной контроль	2	СМД-2-300В СОД-2-400
Завод теплоизоляционных материалов ОАО «Ураласбест» (г. Асбест, Свердловская обл.)	Входной контроль	1	СОД-2-300В
ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод» (г. Ревда, Свердловская обл.)	Входной контроль	1	СМД-2-200В
ОАО «Богословское рудоуправление» (г. Краснотурьинск, Свердловская обл.)	Входной контроль	1	СОД-2-300
ООО «Компания «Интерполихим» (г. Королев, Московская обл.)	Входной контроль	1	СОД-2-200-4
ООО «Березовское рудоуправление» (г. Березовский, Свердловская обл.)	Выходной контроль	1	СОД-2-200-2
ЗАО «Базовые металлы» (г. Билибино, Чукотский авт. окр.)	Входной контроль	3	СОД-2-100-2
ОАО «Уфалейникель» (г. Верхний Уфалей, Челябинская обл.)	Входной контроль	1	СОД-2-400
ОАО «Гайский ГОК» (г. Гай, Оренбургская обл.)	Входной контроль	1	СОД-2-400В
ОАО «Уралмеханобр» (г. Екатеринбург)	Входной/ выходной контроль	1	СОД-2-400В
ОАО «Святогор» (г. Красноуральск, Свердловская обл.)	Входной контроль	1	СОД-2-100В
ООО «Спецлабсервис» (г. Екатеринбург)	Входной/ выходной контроль	1	С-80
ЗАО ЗДК «Золотая звезда» (пос. Раздолинск, Мотыгинский район, Красноярский край)	Входной/ выходной контроль	2	СО-800КН СОД-2-200



1	2	3	4
ТОО «Казцинк» (Республика Казахстан)	Входной контроль	16	СОД-2-100В
АО «РУСАЛ Ачинский Глиноземный Комбинат» (г. Ачинск, Красноярский край)	Входной контроль	1	СОД-2-200В- 2П4
ООО «Мак Ланахан СиАйЭс» (г. Пермь)	Выходной контроль	1	СОД-2-200В
АО «Вишневогорский ГОК» (п. г. т. Вишневогорск, Челябинская обл.)	Выходной контроль	1	МП-01Р
ОАО «Богословское рудоуправление» (г. Краснотурьинск, Свердловская обл.)	Выходной контроль	2	СО-1000КН

Справки (акты, протоколы) о внедрении, пуске в эксплуатацию и выполненных работах

1. ОАО «Уральский институт металлов»

**СПРАВКА**  
**О внедрении результатов научно-исследовательской работы**  
**в производство**

В соответствии с Договором на создание (передачу) научно-технической продукции № 01/12 от 17 декабря 2007 года между ОАО «Уральский институт металлов» и ООО «ТАИЛС КО» (научный руководитель – Козин В.З., ответственный исполнитель – Комлев А.С.) была проведена работа по следующей теме:

**«Расчёт и оптимизация параметров подготовки проб ванадиевых шлаков ОАО «НТМК», выбор технологического режима сокращения пробы шлака с использованием дискового электромеханического сократителя».**

В рамках Договора выполнены следующие работы:

1. Проведён анализ существующей схемы отбора и подготовки проб ванадиевого шлака на ОАО «НТМК» и одном из предприятий – потребителей ванадиевого шлака, производимого на ОАО «НТМК».

2. Сформулированы предложения по совершенствованию технологии отбора и подготовки проб ванадиевого шлака с целью снижения систематической и случайной погрешности данного процесса.

3. Проведены лабораторные исследования с целью выбора режимов усреднения и сокращения проб ванадиевого шлака на дисковом электромеханическом сократителе. По результатам исследований для сокращения и усреднения проб ванадиевого шлака в процессе отбора и разделки их рекомендованы дисковые электромеханические сократители типа СОД-2.

Работа выполнена на хорошем научном и техническом уровне. В результате реализации рекомендаций по совершенствованию технологии отбора и подготовки проб ванадиевого шлака общая относительная погрешность результатов опробования снизится с 12,69 до 3,43% (абсолютная общая погрешность снизится с 2,34 до 0,63%).

Результаты экспериментального выбора режимов работы сократителя СОД-2 свидетельствуют о хорошей применимости данного аппарата для сокращения и усреднения проб ванадиевого шлака при их отборе и подготовке для определения количества металловключений и проведения химических анализов.


Дисковые сократители типа СОД-2 на практике должны обеспечить существенное снижение случайной и систематической погрешностей пробоподготовки, значительно уменьшить долю ручного труда при отборе и подготовке проб к анализам, увеличить производительность труда.

Первый заместитель Генерального  
директора ОАО «Уральский  
институт металлов»






Смирнов Б.Н.

2. ОАО «Уфалейникель»

 **ПРОМЫШЛЕННО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ХОЛДИНГ**

---

**УФАЛЕЙНИКЕЛЬ**  
открытое акционерное общество

456800, Россия, Челябинская обл., г. Верхний Уфалей, ул. Победы, 1

тел.: (35164) 2-39-87, 9-41-42  
факс: (35164) 2-47-92, 2-04-42  
web: <http://www.ufaleynickel.ru>  
e-mail: [Nico@ufaleynickel.ru](mailto:Nico@ufaleynickel.ru)

ИНН/КПП: 7402001769/741450001

Исх. № 1-5-415  
-04-сентября 2008

*О внедрении результатов  
научно-исследовательской работы в производство*

В соответствии с Договором № 7980 от 28 ноября 2007 г. между ОАО «Уфалейникель» и ООО «Таилс КО» (ответственный исполнитель – нач. производственного отдела ООО «Таилс КО» Комлев А.С.) была проведена работа по оптимизации процесса опробования металлоотходов на складе № 6 ОАО «Уфалейникель».

В рамках Договора выполнены следующие работы:

1. Исследование влияния свойств металлоотходов на процесс их перемешивания и сокращения. Корректировка и подбор технологического режима дискового сократителя для работы на металлоотходах. Изменение конструкции рабочей зоны дискового сократителя в соответствии с выбранным технологическим режимом. Доработка общего устройства дискового сократителя для его размещения на существующей площадке склада № 6 и обеспечения функционирования в составе технологической линии дробления, опробования металлоотходов.
2. Изготовление дискового сократителя «СОД-2-400У» силами механосборочного производства ООО «Таилс КО».
3. Запуск в эксплуатацию дискового сократителя, выбор режимов работы при опробовании различных по гранулометрическому составу и массе партий металлоотходов. Обучение персонала ОТК ОАО «Уфалейникель» эксплуатации и обслуживанию дискового сократителя.
4. Разработка рекомендаций по формированию сокращенных проб металлоотходов применительно к условиям ОАО «Уфалейникель».

Дисковый сократитель показал высокую эффективность работы. Относительная погрешность формирования проб при доверительной вероятности 95 % составляет:

При содержании никеля до 20 % - не более 1,0 %.

При содержании меди до 2 % - не более 3,0 %.

При содержании кобальта до 5 % - не более 2,0 %.

Все детали и узлы дискового сократителя продемонстрировали высокую эксплуатационную надежность. Наряду с высокой точностью формирования сокращенных проб при помощи дискового сократителя обеспечены механизация всего процесса перемешивания и сокращения пробы, а также увеличение производительности процесса опробования и снижение трудозатрат.

Исполнительный директор

В.В. Ануфриев

Начальник ОТК

Д.Е. Коробейников



3. ЗАО «Кыштымский медеэлектролитный завод»**ЗАО «КЫШТЫМСКИЙ МЕДЕЭЛЕКТРОЛИТНЫЙ ЗАВОД»**

456870, г. Кыштым Челябинской области,  
 ул. П.Коммуны, 2  
 р/с 40702810307430000036  
 Филиал АКБ Челябинсбанка  
 к/с 30101810500000000743  
 БИК 047512743, г. Кыштым  
 ИНН 741300630  
 ОКОНХ 12222  
 ОКПО 05774969  
 тел (35151) 3-37-45 ген. директор  
 3-30-68 ком. директор  
 3-42-80 отдел сбыта  
 факс (35151) 32177  
 телетайп 124443 КАРАТ

17 августа 2007 г. № \_\_\_\_\_  
 На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**СПРАВКА****о внедрении результатов научно-исследовательской работы в производство**

В соответствии с Договором на создание (передачу) научно-технической продукции № 1260 от 18 сентября 2006 г. между ЗАО «Кыштымский медеэлектролитный завод» и ООО «Таилс КО» (ответственный исполнитель – нач. производственного отдела ООО «Таилс КО» Комлев А.С.) была проведена работа по оптимизации процесса опробования шлака первичного отделения аффинажа цеха электролиза меди ЗАО «Кыштымский медеэлектролитный завод».

В рамках Договора выполнены следующие работы:

1. Исследование свойств шлака первичного отделения аффинажа цеха электролиза меди. Корректировка и подбор технологического режима дискового сократителя для работы на упомянутом шлаке. Изменение конструкции рабочей зоны дискового сократителя в соответствии с выбранным технологическим режимом. Доработка общего устройства дискового сократителя для его размещения на существующей площадке участка опробования и обеспечения функционирования в составе технологической линии дробления, опробования, упаковки и отгрузки шлака.
2. Конструкторская проработка и изготовление сборочных чертежей вспомогательного оборудования к дисковому сократителю – бункер с шиберной заслонкой и вибрационным питателем.
3. Изготовление дискового сократителя «СОД-2-400» силами механосборочного производства ООО «Таилс КО».
4. Запуск в эксплуатацию дискового сократителя, настройка режимов работы при опробовании различных по массе партий шлака. Обучение персонала участка опробования эксплуатации и обслуживанию дискового сократителя.

Дисковый сократитель показал высокую эффективность работы. Относительная погрешность опробования при доверительной вероятности 95 % составляет не более 1,43 %. Все детали и узлы дискового сократителя продемонстрировали высокую эксплуатационную надежность. Наряду с высокой точностью сокращения и отбора проб при помощи дискового сократителя обеспечены механизация всего процесса перемешивания и сокращения пробы, а также увеличение производительности участка опробования и значительное снижение трудозатрат.

Главный инженер

ЗАО «КМЭЗ»



А.Ю. Сидоренко

4. ОАО «Южуралзолото Групп Компаний»

Для ООО «Таилс КО»

## Справка о внедрении в производство

Настоящей справкой подтверждаем внедрение в золотодобывающее производство ОАО «Южуралзолото Групп Компаний» за период с 2010 по 2016 годы механизированных систем опробования пульпы типа «СОП-1П» разработки и производства ООО «Таилс КО».

Системы опробования внедрены на двух обогатительных фабриках в количестве девяти единиц.

По итогам внедрения и длительного периода эксплуатации систем опробования получены положительные результаты в части учета механических потерь ценного компонента в продуктах сорбционного выщелачивания. Результаты опробования продуктов обогатительных фабрик, полученные с применением внедренных систем, характеризуются стабильностью и высокой точностью. Это позволяет сохранять уровень невязки баланса ценного компонента по обогатительному переделу в пределах 3 – 5 %.

Главный обогатитель



Г. А. Ващенко

Начальник ОТК

Т. Г. Сурдуляк



6. Заполярный филиал ПАО «ГМК «Норильский никель»

	 <p><b>НОРНИКЕЛЬ</b> ЗАПОЛЯРНЫЙ ФИЛИАЛ</p>				
<p>02.02.2024 № ЗФ/4424-исх На № 03-01/25-6 от 24.01.2024</p>	<p><b>Проректору по научной работе ФГБОУ ВО «УГТУ»</b></p> <p><b>Р.А. Апакашеву science@urstm.ru</b></p>				
<p><b>О внедрении результатов научно-исследовательских работ на предприятиях ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»</b></p>					
<p>Уважаемый Рафаил Абдрахманович!</p>					
<p>В рамках Вашего запроса о внедрении результатов научно-исследовательских работ (далее – НИР) на предприятиях ЗФ ПАО «Норильский никель» (далее – ЗФ) подтверждаю, что в период 2014-2018 годы ответственным исполнителем НИР – к.т.н., заместителем директора ООО «Талс КО», научным сотрудником кафедры ОПИ ФГБОУ ВО «УГТУ» Комлевым А.С., под руководством научного руководителя НИР – д.т.н., заведующего кафедрой ОПИ ФГБОУ ВО «УГТУ» профессора Козина В.З., в соответствии с условиями договоров выполнено:</p>					
<p>1. «Проведение технологического аудита системы опробования исходных медно-никелевых руд на ТОФ ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель». Договор от 07.04.2015 № Талс КО-2015;</p>					
<p>2. «Проведение экспертизы узла опробования питания рудных ступителей ТОФ с целью получения заключения о возможности его использования в качестве балансовой точки учёта исходного рудного сырья ТОФ». Договор от 07.08.2017 № 88-2535/17 (далее – Договор);</p>					
<p>2.1 «Оценка процесса отбора проб исходных руд ТОФ на рудниках Талнахской площадки месторождений». Дополнительное соглашение к Договору;</p>					
<p>3. «Оценка действующей системы опробования концентратов платиновых металлов марок ОК и Оку на автоматической линии, определение оптимальных условий опробования и разработка программы экспериментального оценивания погрешности опробования». Договор от 19.06.2017 № 88-2061/17.</p>					
<p>Учитывая рекомендации, полученные по результатам работ по п. 1, выполнено изменение конструкции вакуумного пробоотборника на точке отбора начальной пробы сбросов в пруд-накопитель из лотка тоннеля № 2 Талнахской обогатительной фабрики ЗФ в соответствии с согласованным ответственным исполнителем НИР эскизом.</p>					
<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> <p>Заполярный филиал ПАО «ГМК «Норильский никель»</p> </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> <p>ОКПО 49156713 ОГРН 1028400090298 ИНН 8401005730 КПП 245202001</p> </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> <p>г. Норильск, д. 2 Норильск Россия 663302</p> </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> <p>тел. +7 3919 254191 Факс: gen@norilsk.ru www.nornikel.ru</p> </td> </tr> </table>		<p>Заполярный филиал ПАО «ГМК «Норильский никель»</p>	<p>ОКПО 49156713 ОГРН 1028400090298 ИНН 8401005730 КПП 245202001</p>	<p>г. Норильск, д. 2 Норильск Россия 663302</p>	<p>тел. +7 3919 254191 Факс: gen@norilsk.ru www.nornikel.ru</p>
<p>Заполярный филиал ПАО «ГМК «Норильский никель»</p>	<p>ОКПО 49156713 ОГРН 1028400090298 ИНН 8401005730 КПП 245202001</p>	<p>г. Норильск, д. 2 Норильск Россия 663302</p>	<p>тел. +7 3919 254191 Факс: gen@norilsk.ru www.nornikel.ru</p>		
<p>Методические и технологические рекомендации, полученные по результатам выполненных НИР и направленные на улучшение системы контроля качества и повышение представительности балансового учёта ценных компонентов добываемых руд и продуктов обогащения, применяются при разработке и пересмотре нормативно-технической документации, устанавливающей требования к отбору, подготовке и проведению испытаний проб продуктов горно-обогатительно-металлургических подразделений ЗФ.</p>					
<p>С уважением,</p>					
<p><b>Заместитель Директора – главный инженер</b></p>	 <p><b>М.В. Глибовец</b></p>				
<p>Лепилова Ирина Владиславовна (3919) 25-47-83</p>					
<p>2</p>					

7. ООО «Краснотурьинск-Полиметалл»

кабинет 7, строение 8, дом 12,  
ул. Сибирский тракт, г. Екатеринбург,  
Свердловская область, РОССИЯ,  
620100

Тел. (343) 379 27 83, 379 46 86 доб. 200  
www.polymetal.ru

УРАЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ  
ОБЩЕСТВА С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«ГОРЮВЫЙ ДОМ ПОЛИМЕТАЛЛ»  
УРАЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ ООО «ТД ПОЛИМЕТАЛЛ»

ИНН 7805368914  
ЮЛП 660543001  
ОГРН 1057810222250

25.12.2023 №ТДПМ-3/07- 1778

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Заместителю директора по производству  
ООО «Танкс КО»  
Комлеву А.С.

О внедрении оборудования

Уважаемый Алексей Сергеевич!

В соответствии с запросом подтверждаем внедрение в производство обогатительной фабрики ООО «Краснотурьинск-Полиметалл» за период с 2021 по 2023 год станций опробования пульпы типа «СОП-1» и «СОП-2» в количестве 18 единиц.

По результатам внедрения получены результаты, положительно влияющие на представительность опробования и достоверность баланса металлов.

Оборудование станций опробования пульпы характеризуется достаточной надежностью и стабильностью работы. Выявленные технические недостатки не являются критическими и устраняются в рабочем порядке.

Начальник ОЗП  
Уральского филиала ООО «ТД Полиметалл»

Окатов Д.Е.

Ип. Воронин И.А.  
Тел. +7 (343) 379 46 86 (доб.233).  
Тел.моб. +7 (982) 660 31 34



8. Филиал ППМ АО «Уралэлектромедь»

**Филиал  
"Производство полиметаллов" АО "Уралэлектромедь"**

624140 г.Кировград, Свердловская обл., ул. Энгельса, 19  
Телефон: (34357) 54-6-63  
(34368) 4-98-28  
(343) 283-00-24

E-mail: [ppm@uralcopper.com](mailto:ppm@uralcopper.com)  
ОКПО 00194429, ОГРН 1026600726657  
ИНН/КПП 6606003385/661602002  
Исх. № 7242-04/56 от 29.01.2024 г.  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Проректору по научной работе  
ФГБОУ ВО «УГТУ»,  
проф., д. х. н.  
Р.А. Апакашеву

**Справка**  
о внедрении в производство нового оборудования  
и результатов НИР

В соответствии с запросом подтверждаем внедрение в производство филиала ППМ АО «Уралэлектромедь» техники и технологии опробования разработки ФГБОУ ВО «УГТУ»:

1. В период с 2016 по 2020 год на обогатительной фабрике введены в эксплуатацию четыре системы опробования типа «СОП-1» в составе поточного щелевого пробоотборника типа «ПЩП» и пробосократительного модуля типа «МП» для опробования сливов гидроциклонов, технологического концентрата и отвальных хвостов.

2. В 2020 году на участке пробоподготовки ОТК введен в эксплуатацию дисковый сократитель СОД-2-200В для сокращения проб сыпучих продуктов.

3. В 2022 году в цехе переработки электронного лома введен в эксплуатацию дисковый сократитель СОД-2-400 для опробования измельченного исходного сырья.

4. В 2021 году коллективом кафедры ОПИ ФГБОУ ВО «УГТУ» в интересах филиала ППМ АО «Уралэлектромедь» выполнены НИР по снижению погрешностей опробования продуктов обогащения и повышению качества балансового учета ценных компонентов. По результатам НИР получены и согласованы рекомендации, внедрение которых позволило повысить достоверность балансового учета ценных компонентов, а также установить причины возникновения систематических погрешностей опробования.

Ответственный исполнитель работ по внедрению оборудования и НИР – ст. научный сотрудник ФГБОУ ВО «УГТУ», зам. директора ООО «Тавис КО» по производству, к. т. н. А. С. Комлев.

Главный инженер филиала



О.Г. Берняев

Исполнитель  
Главный обогатитель ППМ  
Коновалова С. Г.  
Тел. 8 (34357) 5-40-92  
[S.Konvalova@uralcopper.com](mailto:S.Konvalova@uralcopper.com)

9. АО «РУСАЛ Ачинский Глиноземный Комбинат»АКТ № 03/2 ввода в эксплуатацию

г. Ачинск

«23» июня 2017 г.

Настоящий акт составлен комиссией в составе:

Представители АО «РУСАЛ Ачинский Глиноземный Комбинат»:

Специалист Отдела материально-технического снабжения (куратор по договору)

Кочетова Наталья Георгиевна

Мастер Отдела логистики Лескова Тамара Архиповна

Представители Поставщика (завода-изготовителя):

зам. директора по производству ООО «Тавис КО» Комлев Алексей Сергеевич

Основание получения оборудования:

договор поставки № РА-Д-16-613 от 26.10.2016

Наименование оборудования:

Дисковый сократитель СОД-2-200В-2П4 (в комплекте [сертификат ГОСТ Р № РОСС RU.АГ13.Н03337, патент РФ № 2347205]; комплект запасных частей, инструментов и принадлежностей; комплект технической документации [паспорт, руководство по эксплуатации] с штеп – монтажом\*)

Марка (модель, тип) **СОД-2-200В-2П4**

Общая стоимость поставленного товара по договору составила 1046542,00 (Один миллион сорок шесть тысяч пятьсот сорок два рубля ноль копеек), включая НДС 159642,00 руб.

Заводской № **239173** Год выпуска **2017**Предприятие-изготовитель: **ООО «Тавис КО»**Фирма-поставщик: **ООО «Тавис КО»**

Телефон: (343) 201-05-60 Факс: (343) 257-82-85

2. Дата получения оборудования Получателем (накладная № 14 от 26.04.2017)

3. Работы по вводу в эксплуатацию проведены с 19 июня 2017 г. по «23» июня 2017 г. предприятием АО «РУСАЛ Ачинский глиноземный комбинат» в присутствии представителя поставщика (ООО «Тавис КО»)

Договор с Поставщиком № РА-Д-16-613 от 26.10.2017 г. (копия прилагается)

4. В результате проведения работ по вводу в эксплуатацию обнаружены дефекты: (перечисляются при наличии) \_\_\_\_\_

Дефекты

нет

да/нет

\_\_\_\_\_ устранены

Дефекты \_\_\_\_\_

не устранены

по причине \_\_\_\_\_

5. Оборудование \_\_\_\_\_ соответствует (годно) требованиям эксплуатационной документации.

6. Претензии к заводу-изготовителю (поставщику) нет да / нет

7. Гарантийный срок эксплуатации до 30 июня 2018 г.

Подпись членов комиссии: \_\_\_\_\_ расшифровка

Н. Т. Кочетова

\_\_\_\_\_ подпись / расшифровка

Т. А. Лескова

\_\_\_\_\_ подпись / расшифровка

А. С. Комлев

ПОКУПАТЕЛЬ:

ПОСТАВЩИК:

Управляющий директор АО  
«РУСАЛ Ачинский Глиноземный Комбинат»

Директор ООО «Тавис КО»



## 10. ОАО «УГМК»

Утверждаю:  
 Директор по горному производству  
 ОАО «УГМК»  
  
 Г.Н.Рудой  
 2019 г.

## ПРОТОКОЛ

технического совещания по рассмотрению выполненных I этапа работ НИОКР по теме «Аудит систем производственного контроля на обогатительной фабрике Оптимизация расчетов при составлении технологического и товарного балансов» в ОАО «Уралмеханобр»

г. Екатеринбург

21 ноября 2019 г.

## ПРИСУТСТВОВАЛИ:

Уральский государственный горный университет (УГГУ)

1. Козин Владимир Зиновьевич – заведующий кафедрой «Обогащение полезных ископаемых»;
2. Комлев Алексей Сергеевич – старший научный сотрудник кафедры «Обогащение полезных ископаемых»

ОАО «Уралмеханобр»

1. Закиричный Виталий Николаевич – Заместитель генерального директора по науке

ОАО «УГМК»:

1. Каратаева Александра Владимировна – зам.начальника управления обогащения

ОАО «СУМЗ»:

1. Слученкова Светлана Михайловна – начальник УКП
2. Копытов Александр Сергеевич – начальник обогатительной фабрики
3. Кутелов Александр Владимирович – гл. обогатитель
4. Котова Ольга Вячеславовна – мастер контрольный ОТК

АО НПО БЭК

1. Ганев Александр Ралифович - Начальник службы технического контроля.

АО «Гайский ГОК»:

1. Ляпин Алексей Геннадьевич – начальник ОТК
2. Деликов Владислав Владимирович – главный технолог-начальник производственного-технологического бюро.

АО «Учалынский ГОК»:

1. Назарова Римма Ураловна-начальник СТК
2. Шарипов Ринат Хакимжанович – главный обогатитель
3. Ягудин Станислав Маратович- главный инженер обогатительной фабрики

Сибирский филиал АО «Учалынский ГОК»

1. Дубровская Елена Петровна- начальник ОТК

Филиал АО «Уралэлектромедь» «Производство полиметаллов»

1. Бериев О.Г.-главный инженер
2. Коновалова С.Г.- главный обогатитель
3. Ильинский А.В.- начальник планового отдела
4. Поляков О.Н.- начальник обогатительной фабрики

АО «Сибирь-Полиметаллы»:

1. Войнова Марина Владимировна- начальник ОТК
2. Толкенин Андрей Юрьевич – главный обогатитель

ООО «Башкирская медь»:

1. Пугенский Геннадий Алексеевич – главный обогатитель.
2. Торочанкина Татьяна Анатольевна – начальник СТК
3. Ахметова Венера Салаватовна – начальник ПТО ОФ
4. Латыпова Луиза Рамилевна – начальник исследовательской лаборатории

АО «Бурбайский ГОК»:

1. Мамбетов Ильяз Ахмадулович- начальник ОТК
2. Фазлов Ринат апитович- зам.начальника ПТО по обогащению
3. Николаев Александр Валерьевич- главный инженер обогатительной фабрики

ОАО «Святогор»:

1. Стройкина Ольга Сергеевна-начальник ОТК
2. Платова Светлана Николаевна – зам. начальника ОТК
3. Андреев Сергей Николаевич – начальник производственного отдела

ЗАО «Урупский ГОК»:

1. Гоголев Андрей Сергеевич – зам.технического директора по обогащению
2. Васильева Ирина Николаевна – начальник ОТК

## РАССМОТРЕЛИ:

Прослушали доклад исполнителя работ УГГУ по выполненным работам на ОАО «СУМЗ», АО «Гайский ГОК», ООО «Башмедь», АО «Бурбайский ГОК»

## ОТМЕТИЛИ:

1. На данный момент опробование на обогатительных фабриках производится как ручным так и механизированным способами.
2. На ряде предприятий имеются упущения и ошибки по тексту и формулам в представленных «Инструкциях по составлению технологических и товарных балансов металлов». Процент невязки по металлам либо не рассчитывается, или рассчитывается с ошибками.
3. Общий технологический баланс металлов по ОФ по всем рудам с ежемесячным накопительным итогом с расчетом по всем металлам по некоторым предприятиям УГГУ не представлен. Представлены технологические балансы или раздельно по каждому типу руды за период или без расчета балансы по драгоценным металлам.
4. Концентрат, находящийся в сгустителе не является готовым (товарным), так как не прошел стадию сгущения (и сушки) и не соответствует требованиям ГОСТ 52998-2008, вследствие чего отражается в товарном балансе металлов как НЗП (незавершенное производство).
5. Корректировки по договорным условиям (перерасчет металлов результатам приема между поставщиками и переработчиками по отгрузке готовой продукции) целесообразно вносить в товарный баланс и отражать в ведомостях движения металлов отдельной строкой.

## ПРЕДЛОЖИЛИ:

1. Представители ОАО «СУМЗ» предложили внести следующие пояснения в отчет: результаты взвешивания на конвейерных весах должны подвергаться корректировке по данным контрольного взвешивания на жд весах с учетом межпериодических интервалов и точности взвешивания весов или УГГУ рекомендовать метод проверки достоверности работы конвейерных весов в соответствии с действующей НД. Рекомендовать правильный расчетный метод определения остатков руды на начало и конец месяца в бункерах с расчетом по металлам.
2. Представители ОАО «Бурбайский ГОК» представили Программу по результатам аудита по снижению неучтенных потерь при складировании готовой продукции и автоматизации точек товарного опробования и предложили внести следующие пояснения в отчет: Рекомендовать методику правильного определения сыпного веса руды и концентратов.
3. Представители ОАО «Святогор» предложили внести следующие дополнения и расчеты в отчет: сопоставить данные расчета технологического и товарного балансов за отдельный взятый месяц по фактическим результатам переработки, выполненных УГГУ и предприятием самостоятельно. Определить риски для предприятия по выявленным отклонениям технологических показателей.
4. Представитель ОАО «УГМК» предложил внести следующие пояснения в отчет: влияние количества металлов НЗП на товарное извлечение при переработке собственного и

давальческого сырья в одном отчетном периоде и отражение учетных данных в товарном балансе. Отразить в отчете влияние остатков в промежуточных сгустителях на технологическое и товарное извлечение.

## РЕШИЛИ:

1. Принять к сведению предварительные результаты аудита.
2. Рекомендовать предприятиям организовать автоматизированный (или механизированный) отбор проб на товарных точках с включением в ТПФП 2021 с учетом рекомендаций УГГУ (минимизировать ручной отбор).
3. Учитывая все нормативные требования и правила расчета технологического и товарного балансов, УГГУ составить за один контрольный месяц отдельно технологической и товарный балансы по всем металлам (в том числе драгоценным металлам) и сопоставить с технологическим и товарным балансом, рассчитанным предприятием самостоятельно. В случае отсутствия фактических первичных данных (в том числе по драгоценным металлам) для расчета балансов УГГУ сделать дополнительный запрос на предприятие. Отразить все технологические и товарные балансы в отчете с расчетом невязок. Сопоставить полученные технологические показатели всех балансов с указанием конкретных рекомендаций (с формулами) по правильному составлению технологических и товарных балансов. Определить риски для ОАО «УГМК» по выявленным отклонениям технологических показателей.
4. Рекомендовать рассмотрение на предприятиях окончательных отчетов по аудиту с оформлением протокольных решений, в том числе с разработкой мероприятий по снижению невязок, выявленных неучтенных потерь или причин по возникновению излишков с учетом специфики производства для каждого предприятия отдельно.
5. Предоставлять ежеквартально в Управление обогащения расчет технологического и товарного балансов по драгоценным металлам по фактическим данным с накопительным итогом на конец отчетного периода (месяц).

Протокол вел

А.В.Каратаева.

Согласовано:

Заместитель директора по горному производству  
 по обогащению ОАО«УГМК»

А.Г. Савин

Заместитель генерального директора по науке  
 ОАО «Уралмеханобр»

В.Н.Закиричный

11. АО «Учалинский ГОК»

УТВЕРЖДАЮ:  
 Главный инженер  
 АО «Учалинский ГОК»  
 И.Х. Ахмедьянов  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ 2020 г.

Протокол

рассмотрения результатов НИОКР по теме: «Аудит систем производственного контроля на обогатительной фабрике. Оптимизация расчетов при составлении технологических и товарных балансов металлов при переработке сырья», выполненной ФГБОУ ВО «УГТУ» по договору №15-20 от 28.02.2019г.

г. Учалы 21.05.20 г.

**Присутствовали от АО «Учалинский ГОК»:**

Главный инженер	Ахмедьянов И.Х.
И.о. главного обогатителя	Закопайло В.В.
Начальник ПТО	Маннанов А.Ш.
Главный маркшейдер	Платоненко С.М.
И.о. начальника СТК	Маврина Н.Ю.
Начальник фабрики	Бойченко Д.Н.
Главный инженер фабрики	Ягудин С.М.
И.о. начальника ПТО	Алтынанманов Д.М.
<b>От ФГБОУ ВО «УГТУ»:</b>	
Старший научный сотрудник	Комлев А.С.

**Рассмотрели:**

- На основании предложения ОАО «УГМК» и АО «Учалинский ГОК»;
- Организацией - ФГБОУ ВО «УГТУ» в соответствии с договором выполнена НИОКР. При этом: сроки выполнения по плану – 12 мес. Сроки выполнения по факту - 16 мес. Затраты по плану – 999960,0 тыс. руб; По факту – 999960,0 тыс. руб.



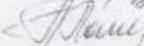



Исполнитель предоставил итоги НИОКР в виде итогового отчета в объеме 108 стр. Получен следующий результат:

- проведено исследование существующей системы опробования на ОФ;
- определены возможные погрешности опробования исходного сырья и продуктов обогащения;
- изучен технологический и товарный баланс ОФ. Определены возможные скрытые потери и излишки ценных компонентов, исследованы причины их появления;
- выданы рекомендации по оптимизации системы опробования на ОФ;
- выданы рекомендации по минимизации влияния погрешностей опробования на определение качества исходного сырья и продуктов обогащения;
- определены допустимые значения невязки товарного баланса по ценным компонентам;
- разработаны рекомендации по корректировке товарного и технологического баланса.

Работа выполнена на основании требований действующей нормативной документации и современных научных представлений о процессах опробования, основанных на асимметричных распределениях массовой доли контролируемого компонента в опробуемом массиве. Указанные представления составляют базу современной теории опробования, являющейся самостоятельным научно-практическим направлением, имеющим научную новизну, доказательную базу, апробацию, практическую значимость и широкий спектр внедрения в производство.

**Решили:**

- Рекомендовать результаты НИОКР к применению на АО «Учалинский ГОК» для создания конкурентной продукции в части повышения уровня контроля за технологическим процессом и осуществляемой отчетности по результатам деятельности АО «Учалинский ГОК»;
- С целью реализации мероприятий указанных в НИР необходимо разработать программу мероприятий по устранению несоответствий. Срок: 29.05.2020 г.
- Обеспечить применение результатов НИОКР согласно разработанной программе.

И.о. главного обогатителя		Закопайло В.В.
Начальник ПТО		Маннанов А.Ш.
Главный маркшейдер		Платоненко С.М.
И.о. начальника СТК		Маврина Н.Ю.
Начальник фабрики		Бойченко Д.Н.
<b>От ФГБОУ ВО «УГТУ»</b>		Комлев А.С.

## 12. ТОО «Бакырчикское горнодобывающее предприятие»

**АКТ**  
сдачи-приёмки работ (услуг)

п. Ауэзов

«28» мая 2018 года

ТОО «Бакырчикское горнодобывающее предприятие», именуемое в дальнейшем «**ПОКУПАТЕЛЬ**», в лице Генерального директора Овчинникова Юрия Борисовича, действующего на основании Устава с одной стороны, и Общество с ограниченной ответственностью «Танис КО», именуемое в дальнейшем «**ПОСТАВЩИК**», в лице Директора Морозова Юрия Петровича, действующего на основании Устава с другой стороны, вместе именуемые «**Стороны**», составили настоящий Акт сдачи-приемки работ (услуг) (далее – «**Акт**») к Договору № БГП 1(03-1-0405) от «10» апреля 2017 года (далее – «**Договор**») о нижеследующем:

1. Поставщик по заданию Покупателя и в соответствии с условиями Договора выполнил следующие работы (оказал услуги):

- Согласно п.1.1. Таблицы 1 Приложения № 5 к Договору выполнение специалистом Поставщика инженерного контроля и технического надзора за монтажом (шеф-монтаж) и надзор за пуском в эксплуатацию оборудования станций опробования пульпы.

2. Общая стоимость выполненных работ согласно Приложения № 5 к Договору составляет 165 400,00 (сто шестьдесят пять тысяч четыреста) рублей, без учета НДС.

3. Работы выполнены (услуги оказаны) Поставщиком в полном объеме. Результаты выполненных работ (оказанных услуг) соответствуют условиям Договора и удовлетворяют требованиям Покупателя.

4. Стороны претензий друг к другу не имеют.

5. Настоящий Акт составлен и подписан Сторонами в 2 (двух) экземплярах, имеющих равную юридическую силу, и находится в одном экземпляре у каждой из Сторон.

**ПОСТАВЩИК**  
Директор  
ООО «Танис КО»



/ Ю.П. Морозов

**ПОКУПАТЕЛЬ**  
Генеральный директор  
ТОО «Бакырчикское горнодобывающее предприятие»



/ Ю.Б. Овчинников

## 13. АО «Бурибаевский ГОК»

УТВЕРЖДАЮ:  
 Генеральный директор  
 АО «Бурибаевский ГОК»  
 Аблаев Р.Б.  
 « 17.01.2020 г.

**ПРОТОКОЛ**  
 технического совещания  
 по итогам предварительного отчета о НИР по Этапу 2  
 «Аудит систем производственного контроля на ОФ. Оптимизация расчетов при  
 составлении технологических и товарных балансов при переработке сырья»  
 АО «Бурибаевский ГОК»

с. Бурибай 17.01.2020 г.

**ПРИСУТСТВОВАЛИ:**

От АО «Бурибаевский ГОК»:  
 Тугузбаев Р. А. – главный инженер  
 Фазылов Р. Р. – заместитель начальника ПТО по обогащению  
 Фомин С. М. – начальник ОФ  
 Мамбетов И. А. – начальник ОТК  
 Тугузбаев В. Х. – и.о. главного инженера ОФ

От ФГБОУ ВО «УГТУ»:  
 Комлев А. С. – старший научный сотрудник ОХНИР ФГБОУ ВО «УГТУ»

**Повестка дня:**

Обсуждение предварительных результатов НИР по Этапу 2 договора № 62.02.2019 от 05.02.2019 г. «Аудит систем производственного контроля на ОФ. Оптимизация расчетов при составлении технологических и товарных балансов при переработке сырья»

**Отметили:**

1. Технологическое, товарное и приемно-сдаточное опробование на ОФ АО «Бурибаевский ГОК» выполняется в полном объеме, достаточном для выполнения необходимых расчетов и ведения технологического процесса обогащения. Система опробования ОФ снабжена полным комплектом необходимых рабочих, технических и технологических документов, разработанных на основе действующих стандартов.
2. В технологической документации системы опробования содержится положение, требующие уточнения или исправления. Технологическую документацию системы опробования ОФ в целом целесообразно обновить.
3. Относительные случайные погрешности определения массовой доли меди в товарном медном концентрате АО «Бурибаевский ГОК» при отгрузке с ОФ находятся в пределах  $\pm 1\%$  для одной партии. Для одной отгружаемой с ОФ партии медного концентрата допустимая разница по массовой доле меди за счет систематической погрешности составляет  $\pm 0,3\%$ .
4. Для условий опробования продуктов обогащения ОФ АО «Бурибаевский ГОК» значимая вероятная систематическая погрешность появляется в случае превышения интервала отбора точечных проб:  
 - для исходного питания ОФ – 10 минут;  
 - для хвостов обогащения – 10 минут;

Страница 1 из 3

Страница 3 из 3

- для отфильтрованного (технологического) концентрата – 15 минут.
- 5. Технологический баланс ОФ рассчитывается по действующей инструкции, представлен в компактной таблице и содержит все необходимые сведения для оценки и управления процессом обогащения, а также для составления товарного баланса.
- 6. Товарный баланс рекомендуется дополнить первичными справками о замерах и исключить корректировку любых показателей до расчета относительных невязок. Также рекомендуется дополнить товарный баланс строкой «невязка по всем металлам» или составлять отдельную таблицу невязок.
- 7. Для составления балансов не рекомендуется:  
 - находить массу металлов в хвостах по разности масс металлов в поступающей руде и в полученных концентратах;  
 - находить массу металлов в хвостах умножением сухой массы хвостов на результат анализа одной средневзвешенной пробы за месяц.
- 8. При работе ОФ наблюдается систематическое возникновение разницы результатов определения массовой доли драгоценных металлов в концентрате перед сгущением, медном концентрате после фильтрации и товарном медном концентрате при его отгрузке.
- 9. Действующий ГОСТ 14180-80 не учитывает новых погрешностей опробования, по этой причине даже при соблюдении требований указанного ГОСТа при опробовании и составлении товарного баланса возможны необъемные отклонения массовой доли металлов, знака и величины невязок товарного баланса.

**Решили:**

1. Предварительные результаты НИР в соответствии с договором № 62.02.2019 от 05.02.2019 г. принять.
2. АО «Бурибаевский ГОК» рекомендуется подготовить план мероприятий по устранению систематической погрешности в точках опробования продуктов обогащения ОФ на всех этапах опробования на основании разработанных рекомендаций НИР «Аудит систем производственного контроля на ОФ. Оптимизация расчетов при составлении технологических и товарных БМ при переработке сырья».  
 Отв. Мамбетов И.А., срок 20.03.2020г.
3. АО «Бурибаевский ГОК» рекомендуется запланировать мероприятия по составлению товарного баланса ОФ с определением массы металлов в хвостах с учетом сухой массы хвостов и средневзвешенных массовых долей металлов по результатам опробования.  
 Отв. Фазылов Р.Р., Мамбетов И.А., срок 20.03.2020г.
4. ФГБОУ ВО «УГТУ» дополнительно обосновать причину появления разницы результатов определения массовой доли драгоценных металлов в медном концентрате перед сгущением, том же концентрате после фильтрации и отгружаемом товарном медном концентрате.  
 Отв. – Комлев А. С., срок выполнения – 20.03.2020 г.
5. Согласовать подписание дополнительного соглашения по выполнению этапа 2 НИР по договору № 62.02.2019 от 05.02.2019 г. «Аудит систем производственного контроля на ОФ. Оптимизация расчетов при составлении технологических и товарных балансов при переработке сырья».  
 Отв. Фазылов Р.Р., срок 24.01.2020г.

От АО «Бурибаевский ГОК»:

Страница 2 из 3

Главный инженер Тугузбаев Р. А.  
 Заместитель начальника ПТО по обогащению Фазылов Р. Р.  
 Начальник ОФ Фомин С. М.  
 Начальник ОТК Мамбетов И. А.  
 И.о. главного инженера ОФ Тугузбаев В. Х.  
 От ФГБОУ ВО «УГТУ»:  
 старший научный сотрудник ОХНИР Комлев А. С.

## 14. ТОО «Казцинк»



№ 03-08/01-19-27

от 25.01.2024 г.

О внедрении в производство

## СПРАВКА

В соответствии с запросом подтверждаем внедрение в производство в отделе технического контроля горно-обогатительного комплекса «Алтай» ТОО «Казцинк» за период с 2015 по 2023 год дисковых сократителей «СОД-2-100В» в количестве 6 единиц.

На сегодняшний день дисковые сократители используются на горно-обогатительном комплексе «Алтай» ТОО «Казцинк» для сокращения проб руд и продуктов их обогащения.

Использование дисковых сократителей продемонстрировало положительные результаты:

- высокая достоверность подготовки проб;
- возможность замены нескольких операций сокращения проб одной операцией сокращения в дисковом сократителе с высокой степенью сокращения;
- увеличение производительности участков подготовки проб;
- снижение трудозатрат операций сокращения и перемешивания проб.

Начальник службы по  
аналитическому и техническому контролю  
горно-обогатительного комплекса «Алтай»  
ТОО «Казцинк»

Л. Б. Деникина

Исп. Лобова Н. А., 96739

Промышленная к., 1  
Отекмен қ.  
Qazaqstan Respyblıkasy  
070002

ул. Промышленная, 1  
г. Усть-Каменогорск  
Республика Казахстан  
070002

БИН 970140000211  
тел +7 (7232) 291 424, 291 001  
e-mail: kazzinc@kazzinc.com



## 15. ПАО «Гайский ГОК»

УТВЕРЖДАЮ:  
 Главный инженер  
 ПАО «Гайский ГОК»  
 Н.И. Ефимов

**Протокол**  
 заседания технического совета  
 по результатам выполнения НИР «Аудит систем производственного  
 контроля на обогатительной фабрике. Оптимизация расчетов при  
 составлении технологических и товарных балансов металлов при  
 переработке сырья»,  
 проводимых согласно договору № 45-207-19 от 18.01.2019 г.  
 с ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».

г. Гай 14 января 2020 г.

**Присутствовали:**

От ПАО «Гайский ГОК»:  
 В.Н. Польшин – главный обогатитель ПАО «Гайский ГОК»  
 А.С. Пономаренко – начальник ПТО ПАО «Гайский ГОК»  
 А.Г. Яшин – начальник ОТК  
 Д.А. Семенов – начальник ОФ  
 А.А. Винокуров – главный инженер ОФ  
 В.В. Дедиков – главный технолог ОФ

От ФГБОУ «Уральский государственный горный университет»:  
 А.С. Комлев – старший научный сотрудник ОХНИР

**Рассмотрели:**

Предварительный отчет о выполнении НИР «Аудит систем  
 производственного контроля на обогатительной фабрике. Оптимизация  
 расчетов при составлении технологических и товарных балансов металлов  
 при переработке сырья», проводимых согласно договору № 45-207-19 от  
 18.01.2019 г.

**Отметили:**

1. На результат опробования продуктов обогащения ОФ ПАО «Гайский ГОК», оказывают влияние систематическая и случайная погрешности, учет которых предусмотрен действующими нормативными документами. Также на указанный результат опробования могут оказывать значимое влияние новые специфические погрешности – вероятная систематическая погрешность и методическая погрешность. Эти погрешности на момент разработки нормативной документации (в т. ч. – ГОСТ 14180-80 и ОСТ 48-276-86) оставались неизученными и ни одним из действующих стандартов не учитываются.

2. В технической документации ПАО «Гайский ГОК» по состоянию на 01.09.2019 г. существовали отдельные положения, требовавшие изменений с целью приведения документации в соответствие со стандартами на опробование руд и продуктов их обогащения. По состоянию на 30.11.2019 г. указанные изменения внесены.

3. Итоговая форма товарного баланса ОФ не отражает показателей качества опробования, а также наличия потерь или излишков ценных компонентов.

Товарный баланс имеет смысл составлять как отдельный документ, включающий сводные сведения за месяц о приеме руды на ОФ, отгрузке товарных концентратов, выпуске хвостов, а также справки (акты) об опробовании (определении масс металлов) в бункерах руды, ступенях и складах концентратов. Все эти сведения целесообразно объединить в единую

сводную таблицу товарного баланса, включающую рассчитанные невязки без коррекций.

После составления товарного баланса допускается составлять баланс металлов по ОФ с учетом полученной невязки (невязок). Это позволит применять предусмотренную типовой инструкцией по составлению товарного баланса операцию изменения массы металла в переработанной руде и, соответственно, извлечения металлов за месяц.

С декабря 2019 г. на ОФ применяется форма товарного баланса с внесенными изменениями согласно вышеназванных рекомендаций.

4. Расчет массы металла в хвостах производился путем ее расчета через массы металла в исходной руде и концентрате по результатам работы.

С ноября 2019 г. расчет потерь металлов с отвальными хвостами выполняется за каждую смену с накопленным итогом на конец месяца по расчетной сухой массе отвальных хвостов и результатам опробования отвальных хвостов за каждую смену.

5. Возникновение систематических погрешностей может происходить на всех этапах опробования от отбора точечных проб до подготовки навески для анализа. Возможное появление систематических погрешностей при опробовании продуктов обогащения вызвано следующими причинами:

- отклонение от некоторых положений ГОСТ 14180-80;
- использование операций и технологических приемов с искусственно заданной в них неустранимой систематической погрешностью.

Во втором полугодии 2019 г. были внесены изменения в НТД ПАО «Гайский ГОК», направленные на устранение вышеназванных причин.

6. Общая случайная погрешность результата опробования складывается из погрешностей операций отбора, подготовки и анализа проб.

Величина случайной погрешности опробования продуктов обогащения ОФ за смену и за месяц имеет разную величину. Для исходной руды и хвостов обогащения величина случайной погрешности опробования на медь снижается за месяц в 2,1 и 3,8 раза соответственно, для опробования на цинк – в 1,7 и 2,5 раза соответственно.

Снижение случайной погрешности опробования возможно при увеличении числа отбираемых точечных проб до величины, существенно превышающей их расчетное число по ГОСТ 14180-80.

7. Относительные случайные погрешности определения массовой доли меди и цинка в одноименных товарных концентратах ПАО «Гайский ГОК» при поставке потребителям находятся в пределах  $\pm 1\%$  для одной партии. Для одной поставляемой партии ТМК допустимая разница по массовой доле меди за счет систематической погрешности составляет  $\pm 0,3\%$ .

Разница массы меди в поставляемых партиях ТМК и ТЦК объясняется систематическими и случайными погрешностями определения массы. Действие погрешностей непостоянно и имеет тенденцию к синхронному снижению доли случайной погрешности и увеличению доли систематической погрешности с увеличением числа партий поставки:

По поставке ТМК:

- для одной партии – преобладающее действие случайной погрешности;
- для поставки партий за календарный месяц – действие случайной и систематической погрешности сопоставимы;
- для поставки партий за календарный год – преобладающее действие систематической погрешности.

По поставке ТЦК:

- для одной партии – преобладающее действие случайной погрешности;
- для поставки партий за календарный месяц – преобладающее действие случайной погрешности;



- для поставки партий за календарный год – действие случайной и систематической погрешности сопоставимы.

Для устранения (минимизации) указанных погрешностей в ПАО «Гайский ГОК» проводится усреднение товарных концентратов.

8. Вероятная систематическая и методическая погрешности имеют специфическую причину возникновения, связанную с отсутствием учета в отобранных пробах значений массовой доли, существенно отличающихся от среднего по отбираемому продукту. Для условий опробования продуктов обогащения ОФ ПАО «Гайский ГОК» значимая вероятная систематическая погрешность может появиться в случае превышения интервала отбора точечных проб:

- для исходной руды – 3 минуты;
- для медного и цинкового концентратов – в зависимости от условий отгрузки;
- для хвостов обогащения – 10 минут.

Предполагается наличие значимой вероятной систематической погрешности при опробовании исходной руды ОФ, в значительной мере определяющей знак существующей невязки. При отборе точечных проб указанная погрешность может привести к колебаниям массы меди, величина которых зависит от интервала времени между отбором точечных проб.

Данное утверждение требует экспериментальной проверки, по результатам которой необходимо принять решение об изменении порядка опробования.

**Решили:**

1. Работу по НИР в соответствии с договором № 45-207-19 от 18.01.2019г. принять.

2. ПАО «Гайский ГОК» запланировать проведение мероприятий по увеличению количества точечных проб и их равномерному распределению по массе отгружаемой партии концентрата.

3. С целью устранения возможных причин возникновения случайных погрешностей необходимо выполнение на ПАО «Гайский ГОК» следующих мероприятий:

- изменение конструкции рабочих элементов имеющегося оборудования и инструмента для отбора точечных проб (по состоянию январь 2020 г. в стадии выполнения);
- внедрение операций подготовки проб, исключающих появление систематических погрешностей (по состоянию январь 2020 г. в стадии выполнения).

4. ФГБОУ ВО «УГТУ» уточнить величину невязки, при которой не имеет смысла выполнять корректировку баланса металлов ОФ.

5. ПАО «Гайский ГОК» совместно с ФГБОУ ВО «УГТУ» запланировать работы по экспериментальному подтверждению наличия вероятной систематической погрешности опробования исходной руды ОФ.

6. ФГБОУ ВО «УГТУ» необходимо доработать представленный отчет в соответствии с требованиями технического задания договора, а также представленными замечаниями и предложениями.

Представители ПАО «Гайский ГОК»:

В.Н. Полькин  
А.С. Пономаренко  
А.Г. Ляпин  
Д.А. Семенов

Представители ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»:

А.С. Комлев