

КОМЛЕВ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА МИКРОПОРЦИОННОГО ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОГО
СПОСОБА ОТБОРА ПРОБ ПРОДУКТОВ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК
С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЯ
СЛУЧАЙНОЙ ПОГРЕШНОСТИ**

Специальность 25.00.13 – «Обогащение полезных ископаемых»

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Научный руководитель –

доктор технических наук, профессор
Морозов Юрий Петрович

Официальные оппоненты:

Сайтов Виль Ирхужеевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры горных машин и комплексов
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный
горный университет»

Кованова Людмила Игоревна,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
ОАО «Научно-исследовательский
и проектно-конструкторский
институт асбестовой промышленности
«НИИпроектасбест»

Ведущая организация –

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

Защита диссертации состоится «18» мая 2012 г. в 14.30 часов в аудитории 2142 на заседании диссертационного совета Д 212.280.02 на базе ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет» по адресу: г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, ГСП.

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

Автореферат разослан «17» апреля 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор

Багазеев В. К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы:

Процессы опробования продуктов обогащения являются ключевой составляющей системы контроля качества на обогатительных фабриках. На представительность опробования существенное влияние оказывает неравномерное распределение контролируемого компонента по объему опробуемого материала. Для выполнения отбора и сокращения проб предписано предпочтительное использование механических сократителей. Большинство существующих механических сократителей формируют сокращенную пробу за счет периодического поперечного пересечения движущегося потока материала. Способ поперечного пересечения отражает в пробе поперечную неоднородность потока, но в силу периодичности и наличия ограничений по числу точечных проб не отражает продольную неоднородность. Комбинация способов поперечного и продольного пересечения потока сокращаемого материала в механизированном варианте не реализована. Не существует механических сократителей, работающих на материале крупнее 30 мм и влажностью более 9 %. Обязательная операция предварительного перемешивания материала в существующих сократителях либо отсутствует, либо выполняется без учета влияния сегрегации. Процессы механизированного сокращения и перемешивания материала не имеют математической оптимизации в зависимости от свойств материала. В силу того что отсутствует единое системное обоснование устройства и принципа работы существующих механических сократителей, складывается ситуация, когда значительная погрешность может быть изначально заложена в конструкцию и режим работы сократителя. Таким образом, оптимизация процесса механизированного сокращения и создание оборудования его реализации являются актуальной научной и практической задачей.

Объектом исследования является процесс механизированного опробования.

Предметом исследования являются закономерности изменения случайной погрешности получения сокращенной пробы в зависимости от крупности сокращаемого материала и его неоднородности по массовой доле контролируемого компонента.

Целью диссертационной работы является получение сокращенной пробы при обеспечении минимально возможной случайной погрешности.

Идея диссертационной работы заключается в использовании закономерности изменения случайной погрешности при отборе проб.

Задачи диссертационной работы:

1. Изучение влияния крупности, гранулометрического состава сокращаемого материала и зависимости случайной погрешности пробы от параметров процесса механизированного сокращения и неоднородности сокращаемого материала.

2. Разработка методического подхода и математического алгоритма расчета оптимальных параметров работы оборудования для получения сокращенных проб с минимально возможной случайной погрешностью.

3. Разработка технологических приемов и оборудования для механизированного получения сокращенных проб в широком диапазоне крупности с минимально возможной случайной погрешностью и испытания разработанного оборудования в условиях действующих технологических процессов.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Номинальная производительность по исходному питанию и номинальная частота вращения разбрасывающего диска поточного сократителя обеспечивают минимальную случайную погрешность получения сокращенной пробы за счет устранения условий возникновения сегрегации в тонком слое на поверхности вращающегося диска.

2. Величина минимального выхода сокращенной пробы поточного сократителя прямо пропорциональна крупности сокращаемого материала и обратно пропорциональна радиусу разбрасывающего диска.

3. Снижение поперечной неоднородности потока по массовой доле контролируемого компонента в поточном сократителе обеспечивает повышение представительности получения сокращенной пробы.

4. Величина случайной погрешности получения сокращенной пробы зависит от дисперсии сокращения, рассчитанной с учетом предложенного коэффициента неоднородности, выражающего качество усреднения сокращаемого материала через дисперсию точечных проб до и после операции усреднения.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработана количественная методика определения условий работы поточного сократителя, при которых получение сокращенной пробы сопровождается минимально возможной случайной погрешностью.

2. Предложена методика количественной оценки эффективности усреднения материала через расчетный коэффициент неоднородности, характеризующий качество перемешивания пробы перед сокращением и учитываемый в расчете дисперсии массовой доли при сокращении пробы.

3. Разработаны устройство и принцип действия поточного сократителя для получения сокращенной пробы методом микропорционного непрерывного продольно-поперечного пересечения потока.

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

Практическая значимость диссертационной работы состоит в разработке технологических приемов и конструкции поточных сократителей для получения сокращенных проб с минимально возможной случайной погрешностью для материалов широкого диапазона крупности с высокой неоднородностью по массовой доле контролируемого компонента. В промышленных

условиях это позволит выполнять механизированное сокращение неоднородных по составу материалов крупностью до (-60) мм.

Реализация результатов работы:

1. Разработанные поточные сократители используются в промышленности в качестве оборудования для получения сокращенных проб исходного сырья и продуктов переработки на десяти предприятиях в количестве 11 единиц.

2. Поточный сократитель использован в составе станции опробования пульпы в качестве технологического узла для регулируемого сокращения потока пульпы. Указанное оборудование внедрено в производство на четырех предприятиях в количестве десяти единиц.

3. Поточные сократители в качестве оборудования для сокращения проб заложены в проекты реконструкции одного горно-обогатительного комбината, трех рудоуправлений и одного металлургического комбината.

4. На разработанный поточный сократитель и способ сокращения проб с его использованием получен Патент РФ на изобретение № 2347205. На предложенный поточный сократитель разработаны технические условия ТУ 3132-001-12282200-2008 «Сократители проб электромеханические дисковые однопродуктовые типа СОД-2» и ТУ 3132-002-12282200-2008 «Сократители проб электромеханические дисковые многопродуктовые типа СМД-2», в системе добровольной сертификации товаров и услуг РФ на поточный сократитель типа СОД-2 получен сертификат соответствия ГОСТ Р № РОСС RU.AB72.H02276.

Апробация диссертационной работы:

Основные положения диссертационной работы доложены на Международных совещаниях «Плаксинские чтения» (г. Апатиты, 2007 г.; г. Новосибирск, 2009 г.; г. Верхняя Пышма, 2011 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, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 гг.), I международной научно-практической конференции «Интехмет-2008» (г. Санкт-Петербург, 2008 г.), Евро-Азиатском машиностроительном форуме (г. Екатеринбург, 2009 г.), 3-м Международном промышленном форуме «Реконструкция промышленных предприятий – прорывные технологии в металлургии и машиностроении – 2010» (г. Челябинск, 2010 г.), IV Международном горнопромышленном форуме (г. Екатеринбург, 2010 г.).

Публикации:

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 14 работах, в том числе в трех статьях, входящих в перечень ведущих научных рецензируемых журналов.

Вклад автора состоит в разработке теоретических положений и математических моделей, разработке устройства и конструкции оборудования, проведении лабораторных исследований, организации и проведении промышленных испытаний оборудования, обработке и анализе результатов экспериментов и промышленных испытаний, организации изготовления разра-

ботанного оборудования, внедрении разработанного оборудования на промышленных предприятиях.

Структура и объем диссертационной работы:

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемых источников из 91 наименования, 16 приложений, содержит 198 страниц машинописного текста, 89 рисунков, 45 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы исследований, сформулированы задачи, цель и идея исследований, обозначены научная новизна и практическое значение работы.

В первой главе выполнен аналитический обзор опубликованных работ в области теории процессов опробования и их практической реализации, рассмотрены теоретические основы процесса получения проб, техническое обеспечение процессов отбора и сокращения проб, изучено состояние дел в части процесса усреднения проб перед сокращением и технического обеспечения процесса усреднения. При этом установлено, что существующие механические сократители и смесители проб имеют ряд существенных недостатков, а выполненные теоретические исследования не затрагивают вопросы количественного обоснования режимов работы и типоразмеров сократителей, их зависимости от крупности, гранулометрического состава и неравномерности распределения контролируемых компонентов сокращаемых материалов. Отсутствуют зависимости количественных показателей сокращения пробы от технических характеристик сократителей. Анализ предложений предприятий-производителей пробосократительного оборудования показывает, что на настоящее время отсутствуют сократители для материала крупностью более 30 мм и влажностью более 9 %. Установлено, что подавляющее большинство существующего оборудования для отбора и сокращения проб реализует принцип поперечного пересечения потока опробуемого материала. Существенное влияние на представительность опробования оказывает неравномерное распределение контролируемого компонента по объему обрабатываемой пробы. Неравномерное распределение контролируемого компонента приводит к продольной и поперечной неоднородности потока опробуемого материала. Для всех аппаратов, работающих по принципу поперечного пересечения потока, существует ограничение по скорости перемещения пробоотборного инструмента. Ограничение скорости пересечения потока влечет за собой ограничение числа точечных проб из-за их большого объема, что приводит к систематическому занижению либо завышению массовой доли контролируемого компонента в сокращенной пробе. Если количество точечных проб, которое представляется возможным отобрать, меньше рассчитанного в соответствии с дисперсией точечных проб, на точность сокращения будет отрицательным образом существенно влиять продольная неоднородность потока. Погрешность

перемешивания материала пробы не имеет законченного аналитического описания и может быть определена только экспериментальным путем применительно к конкретному материалу. Подавляющее большинство материалов, подвергаемых сокращению в ходе пробоподготовки, состоят из различных по размеру, форме и плотности кусков. При перемешивании таких материалов неизбежен эффект неравномерного распределения кусков различной плотности и крупности по объему материала. Изложенные выше свойства опробуемого массива приводят к тому, что условия пробоподготовки даже с использованием механических сократителей, пересекающих поток, далеко не всегда отвечают предъявляемым требованиям. Альтернативой существующим аппаратам является дисковый сократитель. На сегодняшний день дисковый сократитель является аппаратом, создающим условия для наиболее представительного получения сокращенных проб с неравномерным распределением контролируемого компонента. При этом отсутствует теоретическое и количественное обоснование оптимальных режимов работы дискового сократителя и обоснование его типоразмеров. Это не позволяет считать указанный аппарат устройством, получающим сокращенные пробы в оптимальном с точки зрения минимизации случайной погрешности режиме и создает предпосылки для дальнейшего исследования технологических приемов сокращения и совершенствования конструкции дискового сократителя. На основании выполненного аналитического обзора сформулированы задачи исследования, одной из которых является разработка методического подхода и алгоритма расчета оптимальных параметров работы оборудования для получения сокращенных проб с минимально возможной случайной погрешностью.

Во второй главе на основании анализа работы дискового сократителя выполнено теоретическое обоснование оптимальных режимов его работы и предельных характеристик процесса оптимального сокращения, предложен количественный алгоритм изменения случайной погрешности сокращения в зависимости от степени неоднородности сокращаемого материала, проведена экспериментальная проверка оптимальности режимов работы дискового сократителя. Предлагаемое теоретическое обоснование оптимальных параметров режима сокращения включает в себя определение номинальной производительности сократителя по исходному питанию 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, м³/ч:

$$Q_c = 120\pi \cdot K \cdot \left(R + \frac{d_{\max}}{2} \right) \cdot (d_{\max})^2 \cdot n, \quad (1)$$

где R – радиус диска сократителя, м;

d_{\max} – размер частицы максимальной крупности, м;

K – коэффициент заполнения частицами материала единичного кольцевого объема;

n – частота вращения диска, мин^{-1} .

Номинальная частота вращения 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, мин^{-1} :

$$n_c = 47,4 \cdot \frac{1}{\sqrt{d_{\max}}} . \quad (2)$$

Слой сокращаемого материала толщиной в одну частицу максимальной крупности, сходящий с поверхности диска за один его полный оборот, является расчетным элементом потока, который назван «единичным кольцевым объемом материала», м^3 :

$$V_k = 2\pi \cdot \left(R + \frac{d_{\max}}{2} \right) \cdot (d_{\max})^2 . \quad (3)$$

Коэффициент заполнения единичного кольцевого объема частицами материала представляет отношение объема частиц, находящихся внутри единичного кольцевого объема, к самому единичному кольцевому объему:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\pi (\bar{d}_i)^2 \cdot \gamma_i}{6} \right)}{(d_{\max})^2} = \frac{\pi}{6 \cdot (d_{\max})^2} \cdot \sum_{i=1}^m \left((\bar{d}_i)^2 \cdot \gamma_i \right), \quad (4)$$

где d_i – средний размер частицы i -го класса крупности, м;

γ_i – выход i -го класса крупности, д.ед.;

m – количество классов крупности.

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 после отрыва от поверхности диска соотношение скоростей частицы в вертикальной и горизонтальной плоскостях выражается следующей зависимостью:

$$v_{\text{гор}} \leq 4v_{\text{верт}} . \quad (5)$$

Предельный случай приведенной зависимости будет представлять собой строгое равенство:

$$v_{\text{гор}} = 4v_{\text{верт}} . \quad (6)$$

Схема выделения из потока единичного кольцевого объема материала показана на рисунке 1.

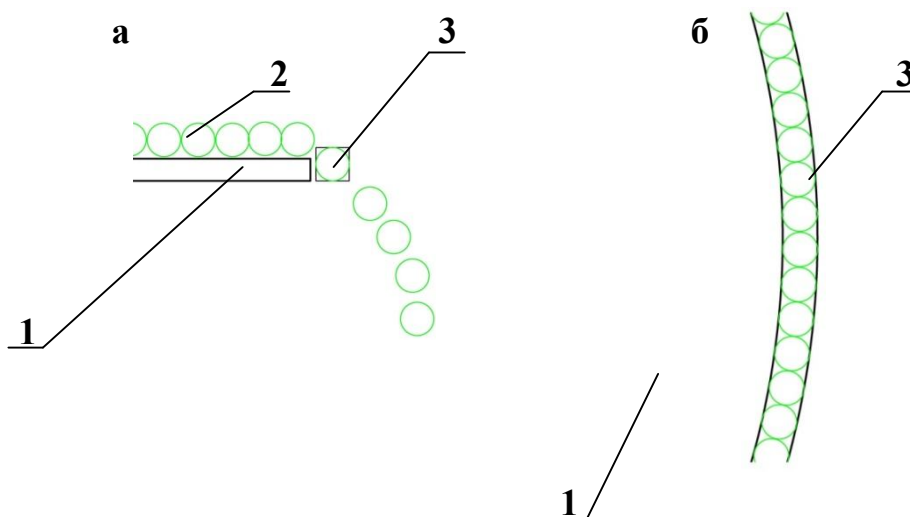


Рисунок 1 – Принципиальная схема выделения из потока единичного кольцевого объема материала: а – вид сбоку, б – вид сверху, 1 – вращающийся диск сократителя; 2 – слой сокращаемого материала; 3 – единичный кольцевой объем сокращаемого материала

2. Расстояние от края диска до крайнего габарита пробоотсекателя в горизонтальной плоскости должно составлять величину не менее четырех размеров частицы максимального размера ($4d_{\max}$).

3. Расстояние от поверхности диска до крайнего габарита пробоотсекателя в вертикальной плоскости должно составлять величину не более половины максимального размера частицы ($0,5d_{\max}$).

4. Частица задерживается в пробоотсекателе при условии, что опускается внутрь пробоотсекателя не менее, чем на половину своего диаметра (для частицы максимальной крупности $0,5d_{\max}$).

5. В материале, распределенном по поверхности диска тонким слоем (к периферии – монослоем), отсутствуют условия для возникновения эффекта сегрегации.

В работе вводится понятие *предельных характеристик процесса сокращения*. Это зависимости, устанавливающие пределы изменения массы продуктов сокращения в зависимости от радиуса диска сократителя и минимальной ширины пробоотсекателя ($3d_{\max}$) при заданной случайной погрешности сокращения.

Минимальная масса исходной пробы:

$$q = \frac{\pi(R+\bar{d}) \cdot (\bar{d})^2 \cdot \rho_M \cdot (a_{\max} - a_{\min})^2}{48 \left(\frac{P_{\text{сокр}} \cdot a}{2 \cdot 100} \right)^2}, \quad (7)$$

где ρ_M – плотность материала пробы кг/м^3 ;

(\bar{d}) – средняя крупность куска пробы, м;

a_{\max} – максимальная массовая доля контролируемого компонента в исходной пробе, %;

a_{\min} – минимальная массовая доля контролируемого компонента в исходной пробе, %;

$P_{\text{сокр}}$ – относительная случайная погрешность сокращения, %;

a – средняя массовая доля контролируемого компонента в исходной пробе, %.

Минимальный выход сокращенной пробы:

$$\gamma_{\text{сокр}} \geq \frac{3d_{\text{max}}}{2\pi(R+\bar{d})} \cdot 100, \% \quad (8)$$

$$\gamma_{\text{сокр}} \geq \frac{100}{\left[\frac{(S_{\text{сокр}})^2 \cdot q_{\text{исх}}}{2 \cdot f \cdot (S_{\text{к}})^2 \cdot \rho \cdot (\bar{d})^3} + 1 \right]}, \% \quad (9)$$

где $(S_{\text{сокр}})^2$ – заданная дисперсия массовой доли при сокращении, %²;

f - коэффициент формы ($f = 0,5$);

$(S_{\text{к}})^2$ - покусковая дисперсия, %²;

ρ - плотность материала, кг/м³.

Уменьшение неоднородности исходной сокращаемой пробы можно достичь путем ее усреднения. Неоднородность материала пробы предлагается оценивать через дисперсию точечных проб. Тогда эффективность усреднения материала предлагается выражать через введенный в расчет *коэффициент неоднородности* K_S , являющийся отношением дисперсий точечных проб после усреднения пробы $(S_{T_{\text{ус.}}})^2$ и до усреднения пробы $(S_{T_{\text{пр.}}})^2$:

$$K_S = \frac{(S_{T_{\text{ус.}}})^2}{(S_{T_{\text{пр.}}})^2} = \frac{\left(\frac{a_{\text{max}_{\text{ус.}}} - a_{\text{min}_{\text{ус.}}}}{4} \right)^2}{\left(\frac{a_{\text{max}_{\text{пр.}}} - a_{\text{min}_{\text{пр.}}}}{4} \right)^2} = \frac{\Delta(a_{\text{ус.}})^2}{\Delta(a_{\text{пр.}})^2} = \left[\frac{\Delta a_{\text{ус.}}}{\Delta a_{\text{пр.}}} \right]^2 \quad (10)$$

В выражение для расчета дисперсии массовой доли при сокращении предлагается добавить коэффициент неоднородности сокращаемой пробы K_S , отражающий качество перемешивания пробы перед сокращением, %²:

$$(S_{\text{сокр}})^2 K = 2 \cdot f \cdot (S_{\text{к}})^2 \cdot \rho \cdot (\bar{d})^3 \cdot \left(\frac{1}{q_{\text{сокр}}} - \frac{1}{q_{\text{исх}}} \right) \cdot K_S, \quad (11)$$

где $(S_{\text{к}})^2$ – покусковая дисперсия усредняемой пробы, %²;

$q_{\text{сокр}}$ – масса сокращенной пробы, кг;

$q_{\text{исх}}$ – масса исходной пробы, кг.

При значении коэффициента неоднородности K_S менее единицы в результате перемешивания пробы перед сокращением ее неоднородность уменьшается, при величине K_S более единицы перемешивание пробы приводит к сегрегации, в результате чего неоднородность материала пробы увеличивается.

В работе была проведена экспериментальная проверка оптимального характера процесса сокращения с использованием стендового дискового сократителя и искусственной маркированной смеси. Результаты экспериментов подтвердили соответствие экспериментальных распределений теоретическим расчетным в пределах доверительного интервала.

В третьей главе приведены результаты моделирования процесса сокращения и устройства поточного сократителя.

Предложено принципиально новое устройство и принцип действия *поточного сократителя*, формирующего сокращенную пробу *методом микропорционного непрерывного продольно-поперечного пересечения потока*.

Проведено экспериментальное моделирование процесса сокращения в поточном сократителе на искусственных смесях различной крупности, состоящих из кварцевой крошки и кварцевых маркеров. Массовая доля контролируемого компонента в маркерах составляла 2,5 %. При этом все искусственные смеси, используемые при моделировании, содержат такое количество маркеров, чтобы массовая доля контролируемого компонента в смеси составляла $\alpha = 0,5 \%$.

При работе поточного сократителя с номинальными параметрами относительная случайная погрешность сокращения во всех случаях была минимальной либо близкой к минимальной. В случае отклонения режима работы поточного сократителя от номинальных значений производительности и частоты вращения диска наблюдается значительное увеличение случайной погрешности сокращения пробы и превышение допустимого предела отклонения массовой доли контролируемого компонента. Зависимости относительной случайной погрешности сокращения пробы от производительности поточного сократителя и частоты вращения разбрасывающего диска приведены в таблице 1. Принципиальное устройство поточного сократителя показано на рисунке 2.

Таким образом, получены результаты, подтверждающие теоретическое положение о минимизации погрешности сокращения при работе поточного сократителя с номинальной производительностью по исходному питанию и номинальной частотой вращения разбрасывающего диска.

В работе получено экспериментальное подтверждение зависимостей предельных характеристик процесса сокращения от случайной погрешности получения сокращенной пробы для искусственных смесей различных классов крупности. Получены расчетные закономерности в соответствии с теоретической моделью зависимости выхода сокращенной пробы от массы исходной пробы при заданной погрешности сокращения. Зависимость минимального выхода сокращенной пробы от массы исходной пробы при допустимой относительной погрешности сокращения 15 % для материала разной крупности показана на рисунке 3.

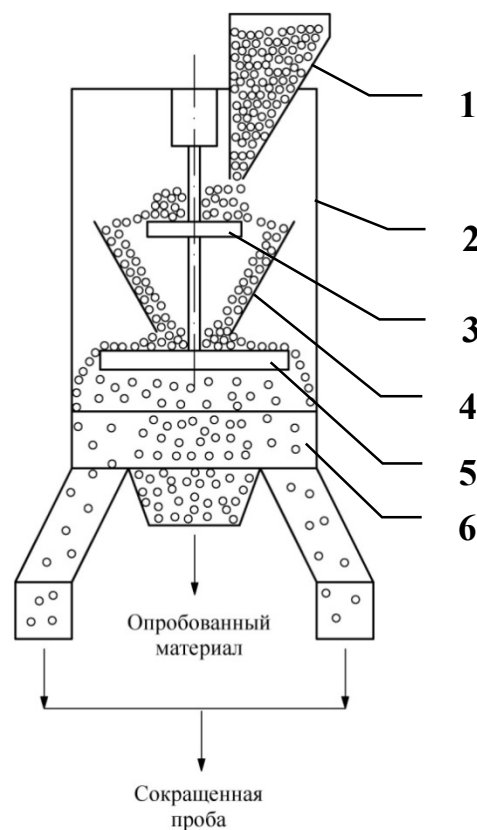


Рисунок 2 – Принципиальное устройство поточного сократителя: 1 – загрузочная воронка; 2 – корпус сократителя; 3 – диск усреднительный; 4 – направляющая воронка; 5 – диск разбрасывающий; 6 – пробоотсекатель регулируемый

Таблица 1 – Зависимости относительной случайной погрешности сокращения пробы от производительности поточного сократителя и частоты вращения разбрасывающего диска

Крупность иск. смеси, мм	Ном. производит., м ³ /ч	Ном. частота вращения разбр. диска, мин ⁻¹	Допустимая отн. погрешность сокращения, %	Отн. погрешность сокращения фактич., %
-13+8	0,783	416	21,68	7,80
-8+5	0,607	530	10,47	7,40
-5+3	0,181	670	5,17	5,00
-3+1	0,104	865	2,40	2,00
-1+0	0,012	1 499	0,46	0,40

Результаты моделирования показывают соответствие экспериментальных зависимостей предельных характеристик процесса сокращения установленным принципиальным теоретическим зависимостям.

На рисунке 4 показана взаимная связь выхода сокращенной пробы, найденного исходя из заданной погрешности сокращения, с крупностью сокращаемого материала и радиусом разбрасывающего диска поточного сократителя.

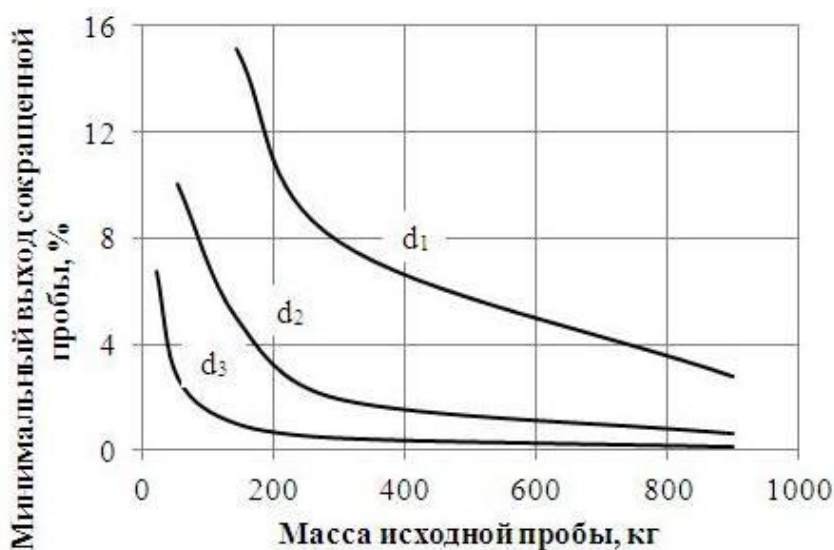


Рисунок 3 – Зависимость минимального выхода сокращенной пробы от массы исходной пробы при допустимой относительной погрешности сокращения 15 %

Экспериментальным моделированием показано, что для исходной пробы заданной крупности существует предел увеличения ее массы, обусловленный минимально возможным выходом сокращенной пробы для существующего радиуса разбрасывающего диска R и минимальной ширины пробоотсекателя ($3d_{\max}$). Уменьшение выхода сокращенной пробы в данных условиях можно достичь только за счет увеличения радиуса разбрасывающего диска.

В результате доказано, что для постоянного значения выхода сокращенной пробы существует предел по увеличению массы и крупности исходной пробы, обусловленный радиусом разбрасывающего диска поточного сократителя.

Снижение выхода сокращенной пробы в этом случае возможно только за счет увеличения радиуса разбрасывающего диска.

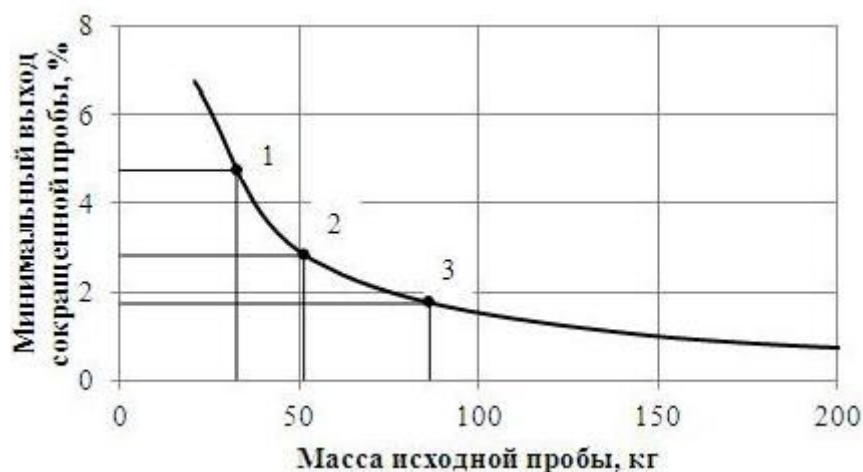


Рисунок 4 – Зависимость выхода сокращенной пробы искусственной смеси крупностью (-5+3) мм от массы исходной пробы и геометрических параметров поточного сократителя при относительной погрешности сокращения 15 %: 1 – радиус разбр. диска 0,05 м; 2 – радиус разбр. диска 0,10 м; 3 – радиус разбр. диска 0,15 м

Получено экспериментальное подтверждение необходимости учета степени неоднородности распределения контролируемого компонента при расчете дисперсии и случайной погрешности сокращения пробы. 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. Экспериментальным путем было доказано, что погрешность сокращения при увеличении неоднородности материала может быть больше рассчитанной по известным формулам.

Величина коэффициента неоднородности материала K_S после прохождения через рабочую камеру поточного сократителя с усреднительным диском более чем в два раза меньше, чем при работе поточного сократителя без усреднительного диска. На основании этого можно сделать вывод о необходимости предварительного механизированного усреднения. По эффективности усреднения материала поточный сократитель показал преимущество перед распространенными способами усреднения. Результаты экспериментов представлены в таблице 2.

На основании этого показано, что операция предварительного перемешивания материала снижает коэффициент неоднородности сокращаемой пробы в 2,1 раза, при этом происходит снижение дисперсии и относительной случайной погрешности сокращения в 2,0 и 1,4 раза. Поперечная неоднородность потока по массовой доле контролируемого компонента за счет операции перемешивания снижается до величины коэффициента неоднородности 0,44.

Таблица 2 - Зависимость коэффициента неоднородности от способа усреднения и продолжительности усреднения

Значение коэффициента неоднородности K_S			
поточный сократитель с усреднит. диском	перемешивание в барабане мельницы (продолжительность, с)	способ перекачивания (количество операций)	способ «кольца и конуса» (количество операций)
0,44	0,70 (60 с)	0,92 (3)	0,82 (1)
	1,03 (180 с)	1,34 (9)	0,89 (3)
	1,17 (360 с)	1,28 (18)	0,80 (6)

При этом величина случайной погрешности получения сокращенной пробы зависит от дисперсии массовой доли контролируемого компонента, рассчитанной с учетом эффективности предварительного усреднения сокращаемого материала через предложенный коэффициент неоднородности.

В четвертой главе приведены обоснование типоразмерного ряда поточных сократителей и результаты разработки промышленных поточных сократителей. На рисунке 5 приведены линейные размеры поточного сократителя для расчета единичного объема материала перед подачей на разбрасывающий диск.

Для сокращения больших проб в промышленных условиях разработан типоразмерный ряд поточных сократителей, отвечающий условиям значительного увеличения массы исходной пробы при сохранении требуемой массы сокращенной пробы. Основным параметром, определяющим типоразмер поточного сократителя, принят радиус разбрасывающего диска R . Объем материала при выходе из подводящей воронки поточного сократителя V_B определяется по следующей зависимости, м³:

$$V_B = 3d_{\max} \cdot \left(\frac{\pi \cdot 25(d_{\max})^2}{4} - \frac{\pi \cdot (d_{\max})^2}{4} \right) = 18 \cdot \pi (d_{\max})^3. \quad (12)$$

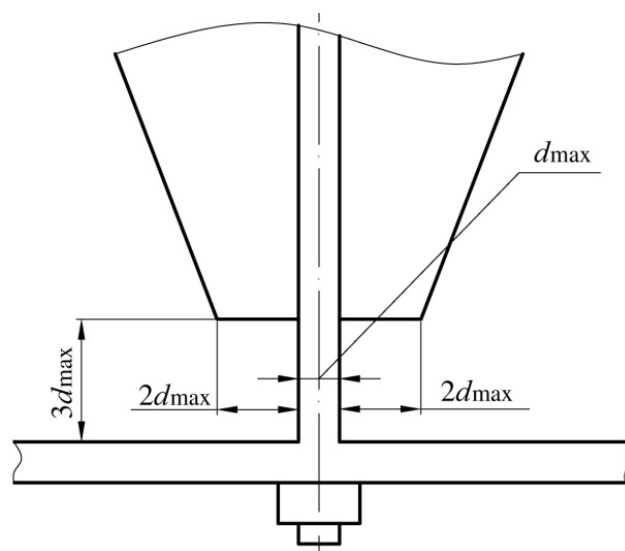


Рисунок 5 – Линейные размеры поточного сократителя для расчета единичного объема материала перед подачей на разбрасывающий диск

Длина окружности диска сократителя и размер частицы сокращаемого материала максимальной крупности определяют величину единичного кольцевого объема материала, находящегося на периферии диска. Единичный кольцевой объем сокращаемого материала при номинальных параметрах работы поточного сократителя в каждый период времени формируется из того объема материала, который разгрузился на разбрасывающий диск из подводящей воронки. Таким образом, радиус разбрасывающего диска поточного сократителя R обусловлен максимальной крупностью сокращаемого материала, м:

$$R = 8,5 \cdot d_{\max}. \quad (13)$$

Так как пробоотсекатель перекрывает собой всю рабочую камеру поточного сократителя по ее диаметру, отбор сокращенной пробы производится в двух прямо противоположных точках потока сокращаемого материала. Выход сокращенной пробы определяется по следующей формуле, %:

$$\gamma_{\text{сокр}} \geq \frac{d_{\max}}{\pi \cdot (R + \bar{d})} \cdot 100. \quad (14)$$

При постоянной крупности сокращаемого материала увеличение радиуса разбрасывающего диска приводит к уменьшению минимального выхода сокращенной пробы. Зависимости минимального выхода сокращенной пробы от радиуса разбрасывающего диска для различной крупности сокращаемого материала показаны на рисунке 6.

Предложен промышленный поточный сократитель, состоящий из корпуса, разгрузочной системы, усреднительного агрегата, регулируемого пробоотсекателя, привода и установочной рамы. Разработан типоразмерный ряд поточных сократителей с радиусом разбрасывающего диска от 0,075 до 0,450 м, для которых радиус разбрасывающего диска увеличивается пропорционально возрастанию крупности сокращаемого материала от 6 до 60 мм. Разработаны модифицированные варианты поточных сократителей, обеспечивающие получение до четырех параллельных сокращенных проб и сокращение материала с влажностью до 18 %.

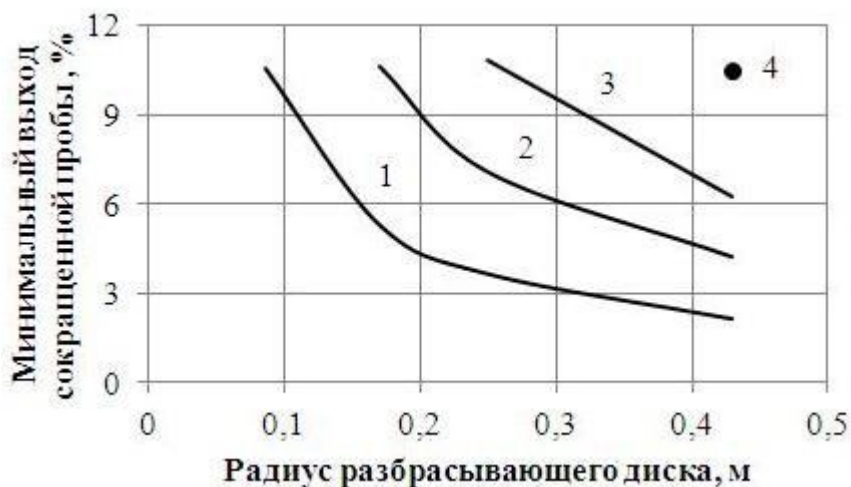


Рисунок 6 – Зависимость минимального выхода сокращенной пробы от радиуса разбрасывающего диска для различной крупности сокращаемого материала: 1 – для крупности (-10) мм; 2 – для крупности (-20) мм; 3 – для крупности (-30) мм; 4 – для крупности (-50) мм

Поточный сократитель и способ сокращения и отбора проб с его использованием защищены Патентом РФ на изобретение № 2347205, на предложенный ряд типоразмеров поточного сократителя разработаны технические условия ТУ 3132-001-12282200-2008 и ТУ 3132-002-12282200-2008, получен сертификат соответствия ГОСТ Р № РОСС RU.AB72.H02276.

В пятой главе показаны результаты внедрения поточных сократителей на производственных объектах и технико-экономические результаты внедрения.

Поточные сократители в промышленности получили основное применение в качестве аппаратов для подготовки сокращенных проб исходного сырья и готовой продукции. Схема предполагает выгрузку сокращаемой пробы из тары в поточный сократитель и загрузку в другую тару на выходе из поточного сократителя. Поточный сократитель, установленный в перегрузочном узле, позволяет выполнять необходимую процедуру опробования при перегрузке без потери времени и затрат на дополнительные операции. В настоящее время поточные сократители различных типоразмеров включены в состав проборазделочных линий для сокращения проб различной крупности на различных стадиях проборазделки. Поточные сократители выполняют функцию сокращения пробы перед первой стадией уменьшения крупности, между двумя стадиями уменьшения крупности, а также формируют конечную сокращенную пробу после последней стадии уменьшения крупности. На основе поточного сократителя разработана станция опробования пульпы, предназначенная для опробования потока пульпы в трубопроводе.

Поточные сократители внедрены на следующих промышленных объектах: Филиал «Производство полиметаллов» ОАО «Уралэлектромедь», ЗАО «Кыштымский медеэлектролитный завод», ОАО «Ураласбест», ОАО «Уфалейникель», ОАО «Уральский институт металлов», ОАО «Сильвинит», СП ЗАО «Омсукчанская горно-геологическая компания», ОАО «Среднеуральский медеплавильный завод», ОАО «Южуралзолото Группа Компаний», ОАО «Богословское рудоуправление», ООО «Березовское рудоуправление», ОАО «Святогор», ЗАО «Базовые металлы», ООО «Уралтехноцентр», ОАО «Гайский ГОК», ООО «Коралайна Инжиниринг», ООО «Компания «Интерполихим».

Технико-экономический эффект от применения поточных сократителей в области контроля качества промышленных предприятий делится на три основные статьи:

1. Снижение трудозатрат процесса опробования за счет механизации и увеличения производительности процедуры сокращения пробы.
2. Оптимизация товарно-денежных расчетов в системе «поставщик-потребитель» за счет снижения невязки товарного баланса.
3. Снижение затрат на компенсационные выплаты работникам за счет улучшения условий труда.

Использование поточных сократителей на промышленных предприятиях позволило повысить производительность труда при обработке проб до четырех раз, до 30 % снизить величину фонда оплаты труда и уменьшить величину

относительной случайной погрешности операции сокращения в 2 – 10 раз, при этом улучшив условия труда работников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований приводится решение актуальной научно-технической задачи по оптимизации процесса получения сокращенных проб на основании закономерностей изменения случайной погрешности пробы в зависимости от крупности сокращаемого материала и его неоднородности:

Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Впервые предложена и экспериментально подтверждена методика количественного определения номинальной производительности поточного сократителя по исходному материалу и номинальной частоте вращения разбрасывающего диска поточного сократителя, при которых получение сокращенной пробы сопровождается минимально возможной случайной погрешностью, зависящих от крупности и гранулометрического состава сокращаемого материала.

2. Результаты экспериментального и математического моделирования подтвердили теоретическое положение о минимизации погрешности сокращения при работе поточного сократителя с номинальной производительностью по исходному материалу и номинальной частотой вращения разбрасывающего диска.

3. Получены теоретические и подтверждающие их экспериментальные зависимости случайной погрешности сокращения от массы исходной пробы и выхода сокращенной пробы поточного сократителя. Установлены предельные значения характеристик процесса получения сокращенной пробы в поточном сократителе, учитывающие случайную погрешность получения сокращенной пробы, крупность сокращаемого материала, степень неоднородности сокращаемого материала по массовой доле контролируемого компонента и радиус разбрасывающего диска поточного сократителя.

4. Предложены методика количественной оценки эффективности усреднения материала, расчетный коэффициент неоднородности, характеризующий качество перемешивания пробы перед сокращением и учитываемый при расчете дисперсии сокращения пробы. Коэффициент неоднородности определяется отношением квадратов дисперсий точечных проб после усреднения и до усреднения пробы.

5. Впервые предложено устройство и принцип действия поточного сократителя для получения сокращенной пробы методом микропорционного непрерывного продольно-поперечного пересечения потока.

6. Реализованная в поточном сократителе операция предварительного перемешивания материала снижает коэффициент неоднородности сокращаемой пробы более чем в два раза. При этом происходит снижение дисперсии и

относительной случайной погрешности сокращения в 2,0 и 1,4 раза соответственно. Снижение неоднородности сокращаемого материала по массовой доле контролируемого компонента доказывает справедливость теоретических положений о возможности количественной оценки снижения погрешности операции сокращения.

7. Продольная неоднородность потока сокращаемого материала по массовой доле контролируемого компонента соответствует продольной неоднородности сокращенной пробы поточного сократителя. Поперечная неоднородность потока по массовой доле контролируемого компонента за счет операции перемешивания существенно снижается до величины коэффициента неоднородности 0,25.

8. Предложенный поточный сократитель при усреднении потока сокращаемого материала обеспечивает наименьшее значение коэффициента неоднородности (0,44) по сравнению с известными способами усреднения – способом перекачивания, «кольца и конуса» и усреднения во вращающемся барабане лабораторной мельницы, для которых коэффициент неоднородности принимает значения в диапазоне от 0,70 до 1,34.

9. Математически обоснован и предложен типоразмерный ряд поточных сократителей с радиусом разбрасывающего диска от 0,075 до 0,450 м, для которых радиус разбрасывающего диска увеличивается пропорционально возрастанию крупности сокращаемого материала от 6 до 60 мм.

10. Разработаны модифицированные варианты промышленных поточных сократителей, обеспечивающих получение до четырех параллельных сокращенных проб и сокращение материала с влажностью до 18 %.

11. На разработанный поточный сократитель получен Патент РФ на изобретение, приоритет на полезную модель, на предложенный ряд типоразмеров поточного сократителя получены два технических условия, получен сертификат соответствия ГОСТ Р.

12. Использование разработанных поточных сократителей на 14 промышленных предприятиях в количестве более 20 единиц позволило повысить производительность труда при обработке проб до четырех раз, на 20 – 30 % снизить величину фонда оплаты труда при сохранении уровня заработной платы и уменьшить величину относительной случайной погрешности операции сокращения в 2 – 10 раз, при этом улучшив условия труда работников.

Работы, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах:

1. Комлев А. С. Оптимизация процессов промышленной пробоподготовки//Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2011. № 4. Уральский центр академического обслуживания. С. 67 – 70.

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

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

Работы, опубликованные в других изданиях:

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. Комлев А. С. Новые решения в практике опробования продуктов обогащения // «Неделя горняка-2007». Материалы международного совещания. М.: 2008. С. 306 – 311.

9. 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.

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

11. 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.

12. 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.

13. Морозов Ю. П., Комлев А. С. Совершенствование оборудования для сокращения и отбора проб. // Международное совещание «Плаксинские чтения – 2007», г. Апатиты. Т. 1. Апатиты, 2007. С. 197 – 200.

14. 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.

Подписано в печать 17 апреля 2012 г.
Формат 60 x 84 ¹/₁₆ Бумага писчая Печать на ризографе
Печ. л. 1,0 Тираж 100. Заказ

Издательство Уральского государственного университета
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Отпечатано с оригинала – макета в лаборатории множительной техники УГГУ