

6
А-63

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ИРКУТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЯСТРЕБОВ К.Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА, КИНЕТИКИ И ОСНОВНЫХ
ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ МОКРОГО РУДНОГО САМОИЗМЕЛЬ-
ЧЕНИЯ В МЕЛЬНИЦЕ ТИПА КАСКАД

Специальность 05.317
Обогащение полезных ископаемых

Автореферат
диссертационной работы на соискание
ученой степени кандидата технических
наук

Иркутск
1971

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ИРКУТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

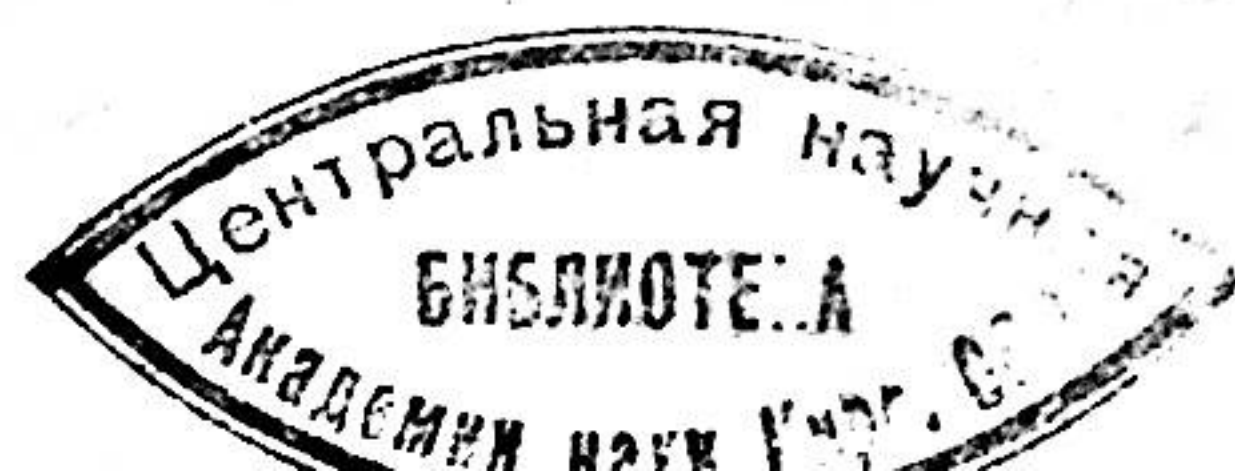
ЯСТРЕБОВ К.Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА, КИНЕТИКИ И ОСНОВНЫХ
ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ МОКРОГО РУДНОГО САМОИЗМЕЛЬ-
ЧЕНИЯ В МЕЛЬНИЦЕ ТИПА КАСКАД

Специальность 05.317
Обогащение полезных ископаемых

Автореферат
диссертационной работы на соискание
ученой степени кандидата технических
наук

Иркутск
1971



Работа выполнена в лаборатории подготовки руд и гравитационных процессов обогащения полезных ископаемых Иркутского государственного научно-исследовательского института редких металлов -Иргермет и на опытных фабриках института ВНИИцветмет и Водского золоторудного комбината.

Научный руководитель, кандидат технических наук М.Л.Певзнер.

Официальные оппоненты: профессор, доктор технических наук заведующий кафедрой благородных металлов Иркутского политехнического института И.М.Скобеев, проректор Иркутского политехнического института, доцент, кандидат технических наук - В.М.Аршинский.

Ведущее предприятие - исследовательский институт ЦНИИОлово.

Автореферат разослан " " 1971 года

Защита диссертации состоится " " 1971 года на заседании Совета по присуждению ученых степеней Иркутского политехнического института.

Ваши отзывы и замечания в двух экземплярах просим направить по адресу: г.Иркутск- 28, Лермонтова 83, Иркутский политехнический институт:

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета
политехнического института, доцент,
кандидат технических наук

/А.В.СИДОРОВ/

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время измельчение руд и других материалов осуществляется главным образом в стержневых и шаровых мельницах с предварительным дроблением в щековых и конусных дробилках. Применение этого комплекса дробильно-измельчительного оборудования связано с высокими капитальными и эксплуатационными затратами.

Естественно, что повсеместно усилия инженеров исследователей и производственников направлены на совершенствование процессов рудоподготовки, на поиски и разработку новых более рентабельных и эффективных способов измельчения.

Поэтому в последние годы процесс самоизмельчения руд в мельницах типа Каскад начинает все более прочно входить в практику рудоподготовки на обогащательных фабриках. Вытеснение общепринятых способов размола минерального сырья новым перспективным и более экономичным способом диктуется прежде всего значительным увеличением масштабов горнорудного производства. XXIV съездом КПСС намечен грандиозный размах развития народного хозяйства СССР, в том числе горнорудной промышленности. При таких масштабах производства даже небольшое снижение стоимости переработки одной тонны руды дает народному хозяйству большой технико-экономический эффект.

Разработка рациональных схем с использованием самоизмельчения руды в мельнице типа Каскад тормозится недостаточной изученностью теории процесса и отсутствием научно-обоснованных режимов работы оборудования. До сих пор в достаточной мере не изучены вопросы механизма, характера и геометрии движения рудных обломков в мельнице типа Каскад, не разработаны все необходимые условия моделирования рудного самоизмельчения и не исследована кинетика процесса самоизмельчения.

В этом направлении автором выполнены экспериментальные и теоретические исследования по изучению с помощью кинофото съемки характера и геометрии движения рудных обломков в мельнице типа Каскад, по изучению кинетики процесса, разработке условий и методики физического моделирования самоизмельчения, влиянию некоторых конструктивных особенностей мельницы на ее работу и другое.

Испытания проводились на следующих рудах: кварц Нарын-Кунтинского карьера, редкометальной руды одного из месторождений Сибири, флюоритовой руды Даринского месторождения и золотосодержащих рудах.

Работа заканчивается рекомендациями по практическому использованию процесса самоизмельчения с его технико-экономической оценкой и совершенствованию режимов работы мельницы типа Каскад.

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка использованной литературы и приложений, содержит 146 страниц машинописного текста, 35 таблиц и 50 рисунков.

Анализ современного состояния техники и технологии самоизмельчения руд и выбор направления исследований сделан в главе I.

Выбор и разработка методик исследования

Для изучения геометрии и характера движения рудных обломков в мельнице самоизмельчения использовалась кино-фотосъемка через прозрачную торцевую крышку. Для этого автором была спроектирована и изготовлена мельница самоизмельчения и разработана методика испытаний. Результаты кино-фотосъемки подвергались фотометрической обработке для получения качественных и количественных характеристик кинематики изучаемого процесса. Использовались методы ускоренной съемки, а методом наложения создавались графические изображения траекторий движения рудных обломков различных слоев загрузки.

С целью изучения влияния основных факторов на производительность мельницы применялись методы: периодического измельчения и с имитацией замкнутого цикла. При этом разработана методика моделирования процесса самоизмельчения.

Производилось изучение влияния основных технологических факторов, конструктивных особенностей мельницы на ее работу особенностей процесса самоизмельчения в лабораторных и полупромышленных условиях.

Исходная руда и измельченный продукт подвергались ситовому, фракционному, минералогическому и химическому анализам с предварительным определением основных физико-механических свойств горных пород по общепринятым методикам. Опыты по самоизмельчению руд в полупромышленных условиях выполнялись на мельнице типа Каскад размером 2.0x0.5м.

Оценка результатов проводилась, как сравнением характеристик крупности измельченных продуктов /слива мельницы/, соответствующих одинаковым продолжительностям самоизмельчения, так и сравнением величины удельной производительности мельницы по расчетному классу крупности.

Исследование характера движения рудной загрузки в мельнице типа Каскад

Было установлено, что при каскадном режиме мельницы рудная загрузка поворачивается на предельный угол, после чего рудные обломки приходят в движение по замкнутым траекториям. Вся рудная загрузка подразделяется на нижнюю уплотненную часть, поверхность которой приобретает вид изогнутой плоскости, и разрыхленную зону каккадирующего материала. Скорость движения рудных обломков по круговым траекториям равна:

$$v_i = 0,705 \pi \psi \frac{D_i}{\sqrt{D}} \text{ м/сек,}$$

где D и D_i - диаметр мельницы и i -го слоя рудной загрузки, м;
 ψ - коэффициент относительной скорости вращения барабана мельницы, доли единицы от критической скорости;
 f - коэффициент трения сыпучего материала, численно равный тангенсу угла естественного откоса того или иного класса крупности руды.

Выявлено, что граничная линия вышеуказанных двух зон рудной загрузки, отвечает уравнению логарифмической спирали /рис. I и 2/:

$$\rho = \frac{D_i}{\pi} e^{\theta f t}$$

Уплотненность нижней зоны определяется тем, что равнодействующая сила трения и тяжести, приложенная к рудному обломку, находящемуся на граничной линии или ниже ее, есть центробежная сила (см. рис. I), действующая на рудный обломок при вращении последнего на расстоянии ρ от полюса спирали с угловой скоростью ω , равной угловой скорости барабана мельницы, т.е.:

$$R_{fa} = m \rho \omega^2$$

Причем полюс этой спирали расположен на вертикальной оси мельницы на расстоянии h от центра мельницы и равен:

$$h = \frac{R_i}{\psi^2} = \frac{R}{\psi^2}$$

Определено, что условию сохранения каскадного режима отвечает следующее выражение:

$$1 > \psi^2 \frac{D_i}{f^2 D}$$

При появлении в нем равенства для данного слоя рудной загрузки наступает водопадный режим. При обратном неравенстве наступает режим центрифугирования.

Выяснено, что при водопадном режиме работы мельницы самоизмельчения траектория движения рудных обломков состоит из участка движения по круговым траекториям от момента падения до момента отрыва и параболической траектории полета от точек отрыва до точек падения на прежние круговые участки. Причем точки отрыва и падения, являясь точками пересечения окружности рассматриваемого слоя и параболы полета, лежат на определенной выше логарифмической спирали. Исследованиями определено, что траектория параболического движения рудных обломков соответствует уравнению:

$$y = \frac{x \sin \alpha_i - R_i \cos 2\alpha_i}{\cos \alpha_i} - \frac{(x + R_i \sin \alpha_i) f^2 D}{\psi^2 D_i^2 \cos^2 \alpha_i}$$

где R_i — радиус рассматриваемого i -го слоя загрузки, м;
 α_i — угол отрыва рудных обломков i -го слоя от круговых участков движения, град.

При этом определены координаты основных точек параболической траектории в координатной системе мельницы /рис.2/

Величина угла отрыва может быть определена из уравнения:

$$\alpha_i = \left(90^\circ - \frac{\beta_2}{2}\right) + \arccos \cos \psi^2 \frac{D_i}{f^2 D}$$

где β_2 — центральный угол рудной загрузки, град.

Координаты вершины параболической траектории определяются из уравнений:

$$x_h = \psi^2 \frac{D_i^2}{4f^2 D} \sin 2\alpha_i - R_i \sin \alpha_i$$

$$y_h = \kappa \psi^2 \frac{D_i^2}{2f^2 D} \sin^2 \alpha_i + R_i \cos \alpha_i$$

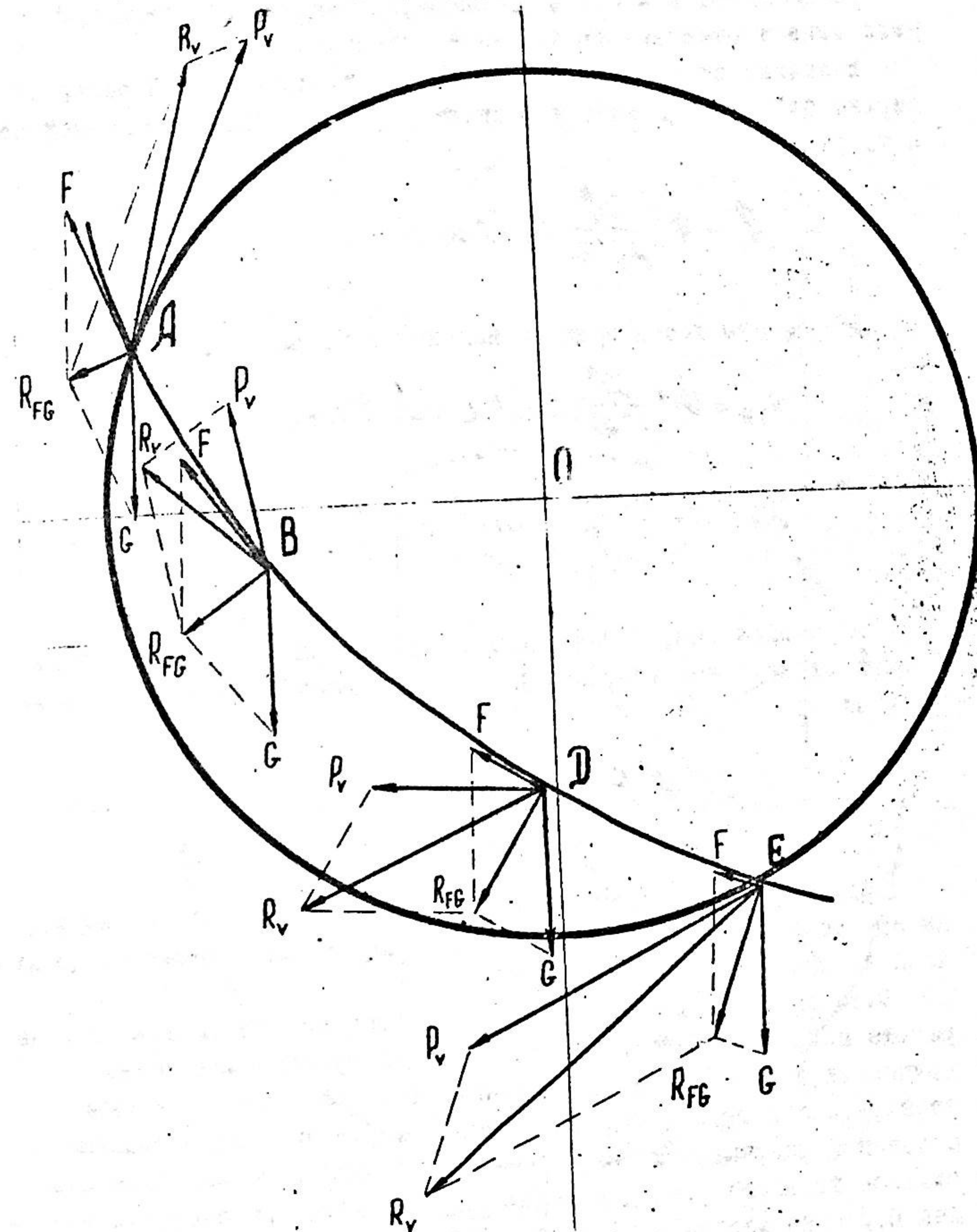


Рис. I. Схема действия сил на рудные обломки, находящиеся на различных удалениях от центра мельницы при работе последней в каскадном режиме

Коэффициент $K = 0.2$ есть экспериментально определенный коэффициент стесненного движения рудных обломков.

Величина отрезка горизонтальной оси, проведенной через точку отрыва от круговых участков движения, отсекаемого параболой полета, равна:

$$\ell_i = \psi^2 \frac{D_i^2}{2f^2 D} \sin 2\alpha_i$$

Координаты точек падения находятся из равенств:

$$x_A = \psi^2 \frac{D_i^2}{f^2 D} \sin 2\alpha_i - R_i \sin \alpha_i$$

$$y_A = -2\psi^2 \frac{D_i^2}{f^2 D} \sin^2 \alpha_i + R_i \cos \alpha_i$$

Из анализа сил, действующих на рудные обломки в момент их отрыва от круговых участков движения, вытекает уравнение линии отрыва:

$$r_i = \rho_i = R_i \operatorname{tg} \alpha_i$$

Траектории рудных обломков различных слоев загрузки мельницы при работе последней в различных скоростных режимах представлены на рис. 3.

Выяснено, что гладкая футеровка отрицательно сказывается на работе мельницы. Наблюдается сегрегация рудного материала по крупности в поперечном направлении, толчкообразные колебания всей рудной загрузки и периодическое нарушение наиболее выгодного сочетания разрушающих сил. При гладкой футеровке наиболее стабильное движение рудных обломков наблюдается при скорости вращения барабана мельницы близкой к 100% от критической скорости и величине заполнения 50% от объема мельницы.

Для предотвращения указанных отрицательных сторон необходимо изменить коэффициент трения-сцепления руды с футеровкой мельницы и тем самым между различными слоями загрузки. Это достигается установкой ребристой футеровки,

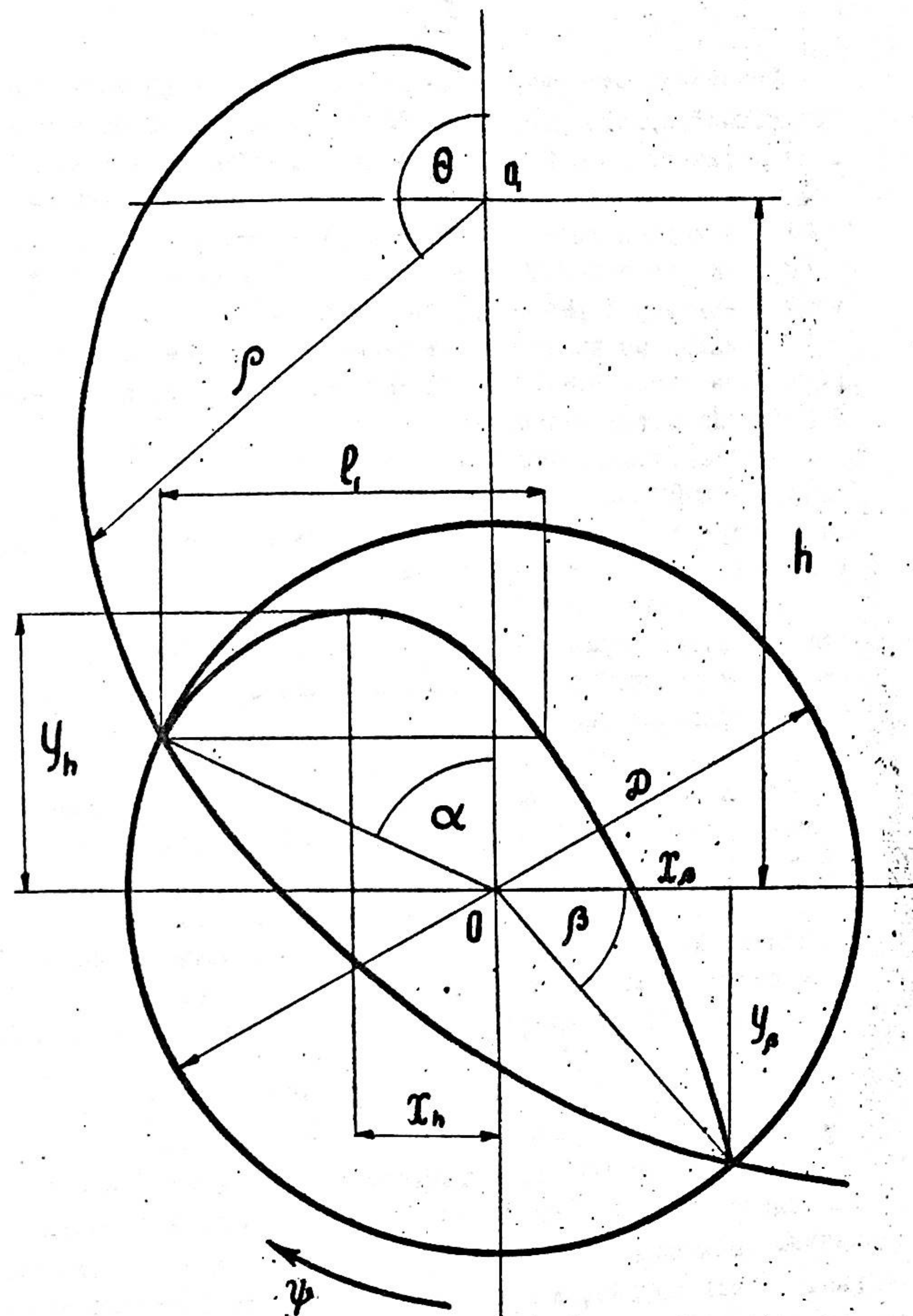


Рис.2. Основные точки траектории и характер движения рудных обломков в мельнице типа Каскад

Выяснено, что увеличение числа лифтеров до величины отношения межлифтерного расстояния к высоте лифтеров равной 9.8 и высоты лифтеров до 0.04 от диаметра мельницы способствует устранению отрицательных сторон гладкой футеровки. Дальнейшее увеличение числа и высоты лифтеров, хотя и улучшает перемешивание рудного материала, но снижает роль ударных и истирающих усилий. Это приводит мельницу в режим работы смесителя.

Оптимальным значением отношения расстояния между лифтеров к их высоте равно 9.8. Оптимальная величина высоты лифтеров равна 0.04 от диаметра мельницы.

Было замечено, что наиболее ритмичная работа рудной загрузки, направленный полет кусков руды и высокая сила удара кусков наблюдается при скорости вращения барабана мельницы равной 75% от критической скорости и при ее заполнении равном 35%.

В диссертационной работе приводятся фотоснимки работы мельницы при различных параметрах механического и скоростного режимов, при гладкой и ребристой футеровке, а также схемы траекторий движения рудных обломков всех слоев загрузки, полученных в результате фотометрической обработки киноленты.

Предложенная методика расчета траектории движения рудных обломков позволяет определить величину полного единичного цикла любого куса руды определить скорость движения рудных тел в любой момент времени и в момент соударений и ориентировочно оптимальные величины важнейших режимных параметров работы мельницы. Это в свою очередь позволяет рассчитать мощность мелющей рудной загрузки и ориентировочно производительность мельницы типа Каскад.

Основные условия моделирования процесса самоизмельчения руд

При изучении процесса мокрого рудного самоизмельчения перед исследователями встает задача теоретического и прикладного значения. Некоторые из них в полупромышленных и промышленных условиях решить трудно, а порой невозможно. Естественно возникает вопрос о необходимости физического моделирования процесса самоизмельчения.

При моделировании обычно рассматривается геометрическое, кинематическое и динамическое подобие натур и модели.

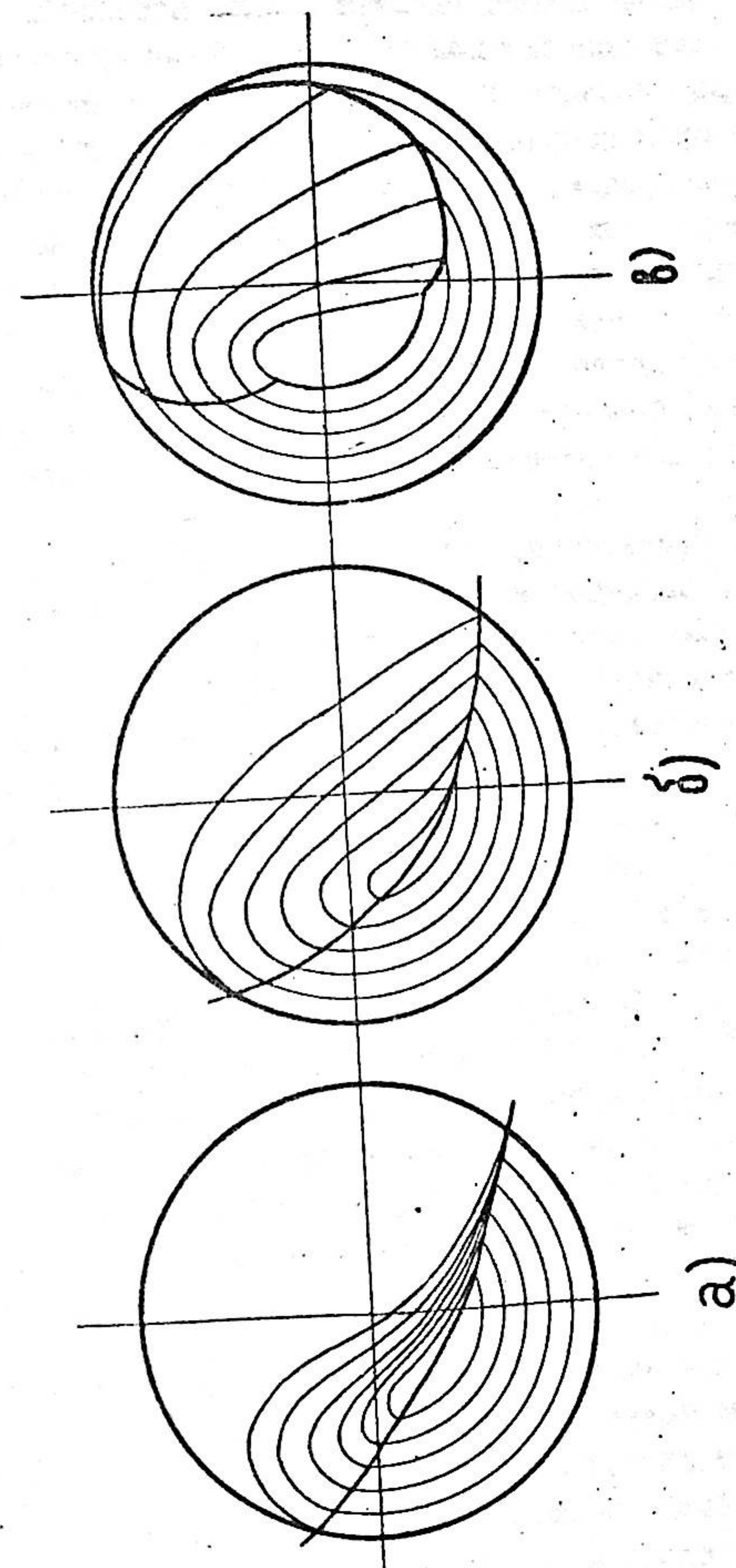


Рис. 3. Схемы траекторий движения рудных обломков в мельнице типа Каскад при: а) каскадном, б) каскадно-водопадном, в) водопадном режимах работы

Нетрудно создать точное геометрическое подобие и обеспечить кинематическое подобие при запуске мельницы, со скоростью, рассчитанной по общеизвестной формуле критической скорости. Проведенные нами в этом направлении исследования с применением кинофотосъемки показали, что кинематика рудной загрузки в лабораторных и промышленных мельницах практически одинакова. Остается решить возможность соблюдения при моделировании динамических характеристик. Моделирование процесса имеет важное значение не только как средство изучения его закономерностей, но и как основа поисков путей совершенствования процесса, не говоря уже о значительной экономии средств и времени при выполнении экспериментальных работ.

Подобие прилагаемых сил при разрушении рудных обломков в модели и в промышленной мельнице типа Каскад может быть отражено в соотношениях прочности соударяющихся рудных обломков. Для проверки этого положения были проведены опыты по самоизмельчению кварца, редкометальной, флюоритовой и золотосодержащей руды. Опыты показали, что правильный выбор максимальной крупности гранулометрического состава исходного питания при моделировании процесса самоизмельчения имеет исключительно важное значение. Так обломки руды крупностью 0.2 от диаметра мельницы разрушаются преимущественно силами ударного воздействия. Поэтому максимальная эффективность наблюдается лишь по крупным классам измельченного продукта. Наоборот, обломки руды малой крупности порядка 0.05 от диаметра мельниц измельчаются в условиях интенсивного истирания. Соблюдение наивыгоднейшего сочетания ударных и истирающих усилий, которое обычно характерно для мельниц промышленного размера, наблюдается при измельчении руды, когда максимальные куски рудных обломков не превышают по размеру 0.1-0.15 от диаметра мельницы. Это условие моделирования отвечает техническим требованиям на выпускаемые мельницы размером 2100x500мм и 5000x800мм. Поэтому зависимость размера максимальных рудных обломков в исходном питании от диаметра указанных мельниц можно представить эмпирической зависимостью:

$$D_p = (0.1 \div 0.15) D$$

Сравнение силовых характеристик измельченного продукта, полученного в лабораторных и полупромышленных условиях при переработке редкометальной и золотосодержащей руды в мельнице типа Каскад размером 2100x500мм показывает, что в двойной логарифмической

сетке эти графики имеют одинаковый наклон и представляют собой прямые. Это указывает на экспоненциальный характер распределения классов крупности и на то, что гранулометрия готовых продуктов одинакова. Равенство угловых коэффициентов наклона, этих прямых является основным условием соблюдения при моделировании подобия динамических характеристик процесса самоизмельчения /рис. 4а и б/.

Исходя из условия максимальной эффективности работы мельницы:

$$\frac{\sigma_d}{\sigma_a} = \text{const}$$

где σ_d и σ_a - соответственно прочности максимальных обломков руды в исходном питании и рудных зерен в разгрузке мельницы, кг/см²,

получена зависимость размера максимальных зерен в разгрузке мельницы от крупности исходного питания:

$$D_p^3 = K \ln \sigma_r \left(1 - \frac{\ln \sigma_d}{\ln \sigma_a}\right) + \alpha^3 \frac{\ln \sigma_d}{\ln \sigma_a}$$

где D_p и α - соответственно размер максимальных рудных обломков исходного питания и зерен в разгрузке мельницы от крупности, см;

σ_r - абсолютная твердость руды, кг/см²;

K - коэффициент учитывающий трещиноватость крупных обломков.

На рис. 5 приведена зависимость изучаемых величин.

Изучение кинетики процесса мокрого рудного самоизмельчения

Сопоставление кривых самоизмельчения разных руд, показало, что при значительных отличиях в скорости уменьшения содержания крупных классов, все руды в кинетическом отношении - обладают общими чертами - неравномерной скоростью уменьшения содержания крупного класса. Высокая эффективность измельчения в начальный период обуславливается угловатой формой исходных рудных обломков. После отделения выступающих частей и разрушения образованных обломков в работу немедленно вступают силы износа трением. Последние усиливаются давлением вышележащих слоев рудной загрузки.

Окатанные крупные куски при ударе друг по другу оказывают взаимное разрушение точечным ударом своей сферической формы, раскладывая отдельные куски или выкалывая участки рудных обломков. Это создает дополнительное благоприятное условие для разрушения силами износа трением. Шероховатая поверхность окатанных рудных обломков все время восстанавливается, сохраняя ячеистую форму. Длительность единичного цикла работы любого рудного обломка составляет весьма малую долю по сравнению с общей продолжительностью самоизмельчения. Поэтому процесс самоизмельчения можно рассматривать как непрерывный процесс разрушения горной породы.

Результаты выполненных исследований в этом направлении позволили экспериментально и аналитически выявить экспоненциальный характер изменения содержания крупного класса в зависимости от продолжительности самоизмельчения и получить уравнение кинетики процесса самоизмельчения:

$$R_t = R_0 e^{-tB 10^{-m-2d^{-\alpha}}}$$

где R_0 — содержание рудных обломков крупнее расчетного класса в исходном питании, %;
 R_t — тоже в разгрузке мельницы после t мин измельчения, %;
 m — коэффициент, зависящий от величины крупности расчетного класса;
 B — относительная скорость самоизмельчения, доли единицы;
 d — расчетная крупность, мм;
 α — постоянная, зависящая от прочностных свойств перерабатываемого материала.

В случае $R_0 = 100\%$, уравнение кинетики процесса самоизмельчения будет иметь вид:

$$R_t = 100 e^{-tB 10^{-m-2d^{-\alpha}}}$$

Выявленные значения коэффициента α приводятся в табл. I.

Таблица I
Числовые значения коэффициента α для различных руд

Наименование руды	Значения коэффициента α
кварцевая руда	0.030
редкометальная руда	0.050
флюоритовая руда	0.160
золотосодержащая руда	0.050

Расчет удельной производительности при использовании уравнения кинетики процесса самоизмельчения позволил получить следующее уравнение:

$$q_i = \frac{0.698 \gamma}{t} \left(1 - e^{-tB 10^{-m-2d^{-\alpha}}} \right) \text{ кг/л.час}$$

где q_i — удельная производительность мельницы самоизмельчения по i -му расчетному классу крупности, кг/л.час;
 φ — коэффициент заполнения, доли единицы от объема;
 γ — насыпной вес исходного питания.

Исследования показали, что абсолютная скорость самоизмельчения прямопропорциональна содержанию обломков и зерен крупнее расчетного класса и обратно пропорциональна продолжительности самоизмельчения. По мере увеличения продолжительности измельчения содержание рудных обломков и зерен крупного класса постепенно убывает, вследствие этого уменьшается скорость, которая равна:

$$A = \frac{P_d}{t}$$

где A — абсолютная скорость самоизмельчения, кг/мин;
 P_d — весовое количество крупного класса, измельченное за время t мин измельчения, кг;
 t — время измельчения, мин.

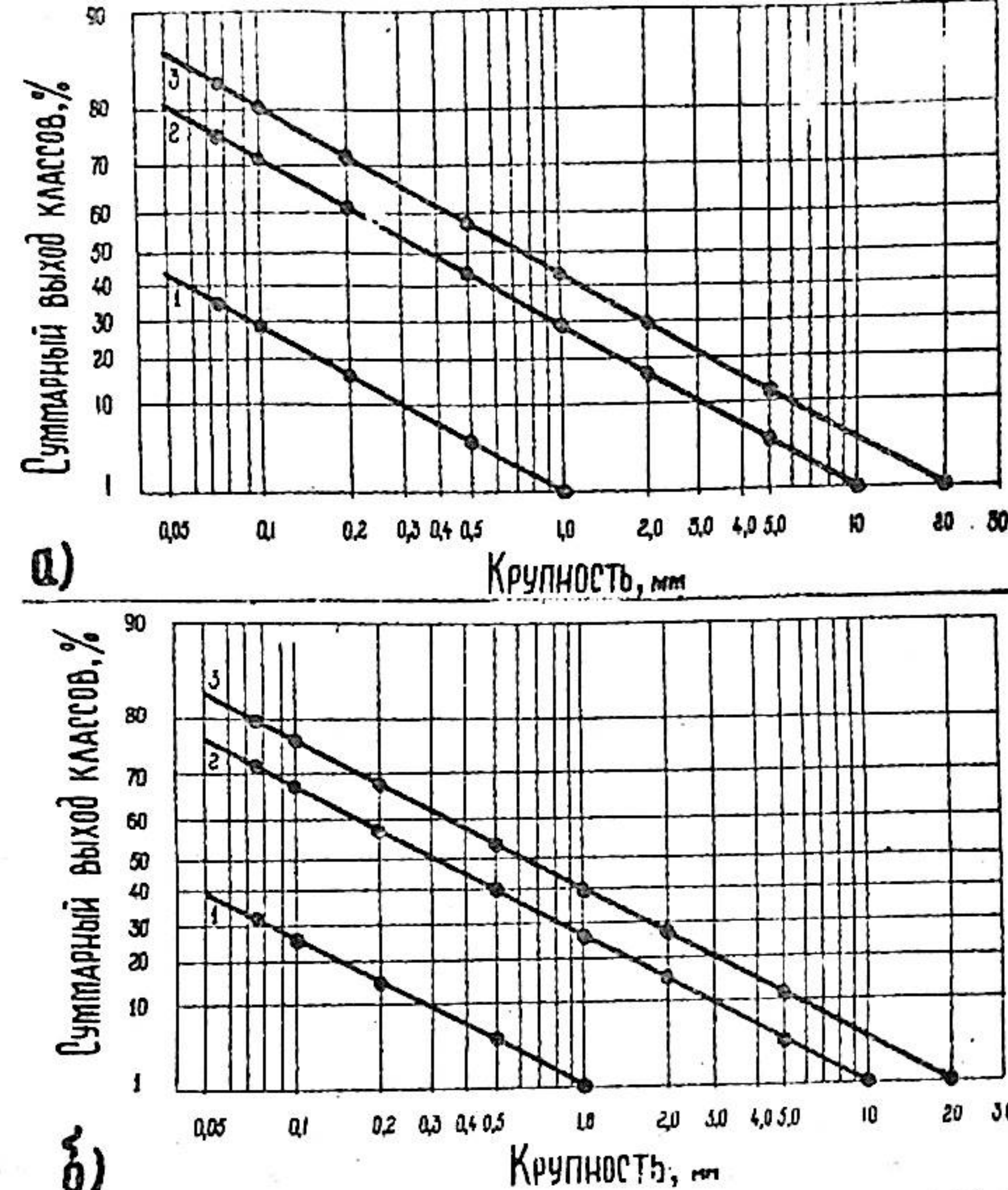


Рис. 4. Ситовые характеристики разгрузки мельниц типа Каскад при переработке а/ редкометалльной руды, б/золотосодержащей руды: 1- в лабораторных условиях, мельница диаметром 500мм; 2 - в полупромышленных условиях диаметром 2100мм; 3 - расчетная ситовая характеристика измельченного продукта мельницы 5000х1800мм

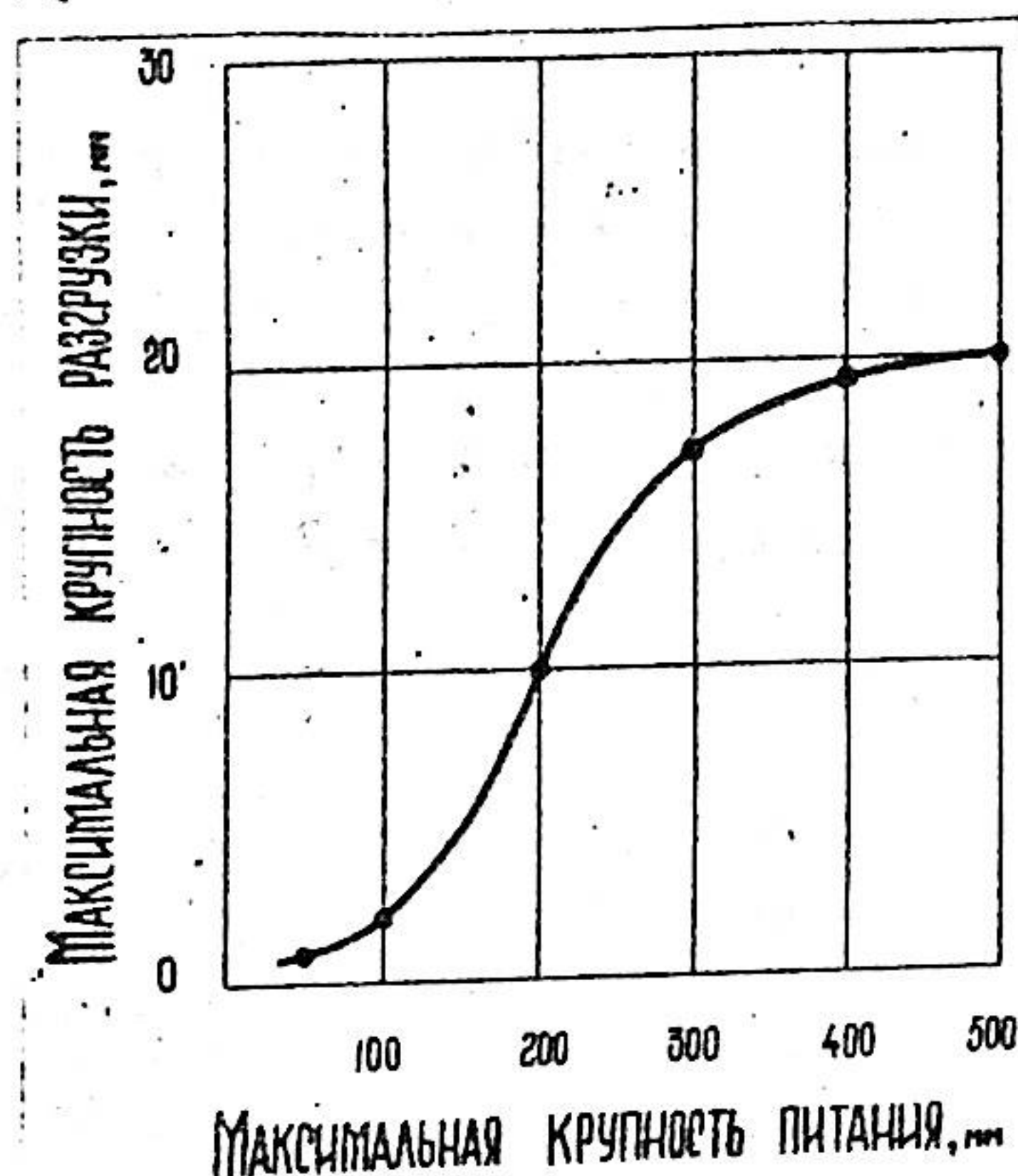


Рис. 5. Зависимость максимального размера рудных зерен измельченного продукта от максимальной крупности исходного питания.

При установившемся режиме величина относительной скорости самоизмельчения постоянна и не зависит от продолжительности измельчения.

$$B = \frac{P_d}{G_d}$$

доли единицы,

где

- B - относительная скорость самоизмельчения, доли единицы;
 P_d - весовое количество крупного класса, измельченного до расчетной крупности и мельче, кг;
 G - весовое количество крупного класса в исходном питании мельницы, кг;
 B_t - относительная скорость самоизмельчения руд при продолжительности измельчения $t = 1$ мин, доли единицы;
 n - угловой коэффициент наклона прямой $B = f(t)$ в логарифмической сетке.

При неустановившемся режиме относительная скорость находится в следующей зависимости от продолжительности измельчения:

$$B = B_t t^n$$

Тогда взаимосвязь абсолютной и относительной скорости будет иметь вид:

$$A = \frac{G_d}{t} B = \frac{G_d}{t} B_t t^n$$

Изучение влияния режимных и конструктивных параметров на производительность мельницы типа Каскад

К основным режимным параметрам, определяющим производительность мельницы типа Каскад, относятся коэффициент заполнения барабана мельницы рудой, плотность пудры в мельнице и скорость вращения барабана мельницы. К основным конструктивным параметрам влияющим на работу мельницы можно отнести число лифтеров и их высоту или отношение межлифтерного расстояния к высоте лифтеров.

Изменение величины коэффициента заполнения вызывает перераспределение разрушающих сил, в результате чего мельница переходит в водонапорный, каскадно-водонапорный или каскадный режим работы и изменяет свою производительность. Исследования в этом направлении подтвердили результаты изучения кинематики процесса

самоизмельчения и показали, что максимальная эффективность мельницы типа Каскад при переработке испытуемых руд наблюдается при заполнении равном 35% от объема. При этом наблюдается наивыгоднейшее сочетание ударных и истирающих усилий. Отмечаются случаи, когда величина заполнения принимается несколько иной. Это допускается при необходимости максимального повышения роли сил износа и выполнения специфических требований технологии переработки ряда руд порой в ущерб максимальной эффективности мельницы. Так при переработке руд, содержащих особо хрупкие, подверженные повышенному ошламованию ценные минералы, необходимо ударные силы несколько ослабить, максимально увеличив роль сил износа. В этом случае наивыгоднейшее заполнение равно 42-45% от объема барабана мельницы.

Максимальная эффективность мельницы типа Каскад при переработке большинства руд наблюдается при содержании твердого в пульпе 70-80%. Разбавленные пульпы приводят к преждевременному выносу недоизмельченных зерен из зоны разрушения. Слишком плотные пульпы ухудшают транспортировку пульпы из мельницы, способствуют образованию слипшихся пакетов рудных тел, забивке межклифтерного пространства и щелей разгрузочной решетки.

Испытания самоизмельчения руд в лабораторных и полупромышленных условиях позволили установить, что степень разжижения пульпы играет следующую роль:

- а) ускоряет продвижение измельчаемого материала и регулирует заполнение мельницы рудой;
- б) обуславливает измельчаемую способность рудного материала;
- в) влияет на механизм перераспределения разрушающих сил.

По-видимому, чтобы вода оказала свое действие в качестве понизителя твердости, достаточно, чтобы она лишь смачивала поверхность рудных обломков. Вторым ограничивающим фактором является текучесть пульпы.

Отмечаются случаи, когда мельницы типа Каскад вынуждены в ущерб максимальной эффективности работать на более разбавленных пульпах.

Это допускается при переработке руд, ценные минералы которых подвержены повышенному ошламованию и при переработке глинистых руд без предварительной отмычки глины. В этих случаях содержание твердого в пульпе поддерживается равным 60-70%.

В диссертации рассматривается метод определения относительной самоизмельчаемости некоторых руд и возможность с его помощью прогнозировать удельную производительность и ситовую характеристику разгрузки мельницы типа Каскад. За эталонную руду был принят кварц Нарын-Кунтинского карьера. В табл.2 приводятся значения коэффициентов относительной самоизмельчаемости. Искомая производительность и удельная производительность равна:

$$Q_p = K_n Q_z$$

$$q_p = K_n q_z$$

где K_n - коэффициент относительной измельчаемости испытуемой руды;

Q_z, q_z - производительность и удельная производительность на руде, принятой за эталон;

Q_p, q_p - тоже при переработке испытуемой руды.

Таблица 2
Значения коэффициентов относительной самоизмельчаемости руд

Крупность, мм	Величина коэффициента K_n			
	кварц	редкометаллическая руда	флюоритовая руда	золотосодержащая руда
-I+0	1.00	1.85	2.12	2.58
-0.5+0	0.88	1.72	2.00	2.39
-0.2+0	0.77	1.54	1.88	2.16
-0.1+0	0.66	1.33	1.72	1.95
-0.074	0.57	1.17	1.58	1.81

Изучение влияния характеристики крупности
исходного питания на работу мельницы типа
Каскад

Гранулометрическая характеристика исходного питания в большой степени влияет на качественную и количественную стороны работы мельницы типа Каскад. При питании, состоящем исключительно из крупных обломков, работа мельницы также малоэффективна, а производительность низка, как и при питании, содержащем значительное количество средней и мелкой фракции.

Гранулометрический состав исходного питания должен обеспечить необходимую скорость образования оптимального объема измельчающей среды. Скорость разрушения руды и объем рудной измельчающей среды есть функция гранулометрического состава исходного питания мельницы. Причем для снижения шламообразования питание не должно содержать рудных зерен мельче расчетного класса. Для установления более точной зависимости производительности мельницы от гранулометрического состава питания был введен коэффициент K_d , который представляет отношение процентного содержания мелких классов $\delta-d$ к содержанию $\delta+d$ крупных в питании мельницы, т.е.:

$$K_d = \frac{\delta-d}{\delta+d}$$

Математическая обработка результатов опытов позволила предположить следующую зависимость величины удельной производительности по i -му расчетному классу крупности q_i от значения коэффициента K_d :

$$q_i = Ae^{\frac{1}{K_d}} + B$$

где A и B — константы помола

Опытами установлено, что удельная производительность есть также функция расчетного класса крупности d :

$$q_i = nd_i - n_1 K_d + C$$

где n, n_1, C — коэффициенты, зависящие от прочностных свойств руды

Результаты анализов продуктов измельчения показали, что оптимальное содержание крупной и мелкой фракции руды в исходном питании обеспечивают максимальную эффективность работы мельницы, способствуют снижению ошламования ценного и перехода его в труднообогащаемые классы. Руды различного минерального состава удовлетворительно подвергаются самоизмельчению в мельнице типа Каскад при значениях коэффициента $K_d = 0.2-0.4$, где индекс d указывает, что расчеты ведутся по максимальному зерну разгрузки мельницы. При этом содержание наиболее продуктивного класса

измельчающей среды должно находиться в пределах 20-40%.

В работе на примере переработки ряда руд различного минерального состава /кварцевой, флюоритовой, редкометальной, золотосодержащих/ производится сравнение обычных методов рудоподготовки с полным рудным самоизмельчением и влияние его на качество готового продукта. Установлено, что полное рудное самоизмельчение способствует снижению выхода труднообогащаемых шламов крупностью -0.011 мм более чем в два раза, а шламы, образованные по этой схеме рудоподготовки характеризуются в 1.5-2.0 раза меньшим содержанием ценного, чем полученные по обычным схемам с применением шарового помола.

В ходе выполнения полупромышленных испытаний самоизмельчения ряда руд изучался оставшийся в мельнице рудный материал и окатанная галька. При этом определялось содержание различных пород, изучалась форма, характер поверхности и окатанность гальки. Изучение характера разрушения горных пород подтвердило, что самоизмельчение руд в мельнице типа Каскад осуществляется при сочетании усилий удара, раздавливания и трения. Для подтверждения этого в работе приводятся фотоснимки окатанных рудных обломков, разрушенных под воздействием тех или иных сил. Установлено, что сила удара в мельнице типа Каскад является главенствующей.

Изучение характеристики крупности измельчающей среды позволило выявить, что в мельнице происходит изменение гранулометрического состава рудной загрузки в сторону создания оптимального объема рудных измельчающих тел, что полностью согласуется с прежними выдвинутыми в работе положениями. Исходная руда при самоизмельчении автоматически приобретает более благоприятную характеристику крупности для разрушения последних порций исходного питания, что позволяет увеличить диапазон колебаний содержания наиболее продуктивного класса крупности в исходном питании.

Практические рекомендации и технико-экономическая оценка процесса самоизмельчения руд в мельнице типа Каскад

Изучение процесса самоизмельчения руд в мельнице типа Каскад в лабораторных и полупромышленных условиях позволило определить, что перед самоизмельчением для устранения сегрегации руды, засорения, забивки бункера, течек и шибровых окон при бункеровании достаточно исходную руду разделить грохочением на колосниках на

два класса /пример +50 и -50мм/ и подавать на самоизмельчение полученные фракции в том соотношении, в котором они находились в исходной руде. Предварительно мелкая фракция должна подвергаться грохочению с отсевом продукта по крупности равного или ниже расчетного класса крупности.

Крупность исходного питания мельницы, как показали исследования, не должна превышать 0.1-0.15 от диаметра мельницы.

При переработке глинистых руд целесообразно осуществлять отмык глины и зерен ниже расчетного класса от мелкой фракции исходного питания в барабанных грохотах.

Мельница типа Каскад должна иметь ребристую футеровку с лифтерами высотой 0.04 от диаметра мельницы. При этом отношение расстояния между лифтерами к их высоте должно быть равно 9.8.

Максимальная эффективность работы мельницы типа Каскад наблюдается при следующих режимных параметрах.

1. Коэффициент заполнения барабана мельницы равен 0.35 от объема. При переработке слабых руд, рыхлых песчаников или в случае наличия в руде легко шламующихся ценных минералов коэффициент заполнения принимается равным 0.42-0.45 от объема барабана мельницы.

2. Содержание твердого в пульпе при переработке неглинистых руд равно 70-80%. В случае переработки глинистых руд без предварительной дезинтеграции и отмывки глины плотность пульпы принимается равной 60-70% твердого.

3. Скорость вращения барабана должна быть равна 75% от критической скорости.

Слив мельницы должен поступить на грохочение с возвращением надрешетного продукта в виде циркулярной нагрузки обратно в мельницу либо должен поступать на последующие стадии переработки.

В случае обработки руды по схеме полного рудного самоизмельчения мелющие тела для рудогалечной мельницы могут быть выделены через специальные отверстия в разгрузочной решетке мельницы типа Каскад.

Технико-экономическая оценка процесса самоизмельчения производилась по результатам анализа работы отечественных и зарубежных установок самоизмельчения и последующего технико-экономического расчета при его внедрении.

Экономическая эффективность складывалась:

1. Из экономии:

а) от снижения капитальных расходов на здание и оборудование;

б) от снижения затрат на материалы /стержни, шары, футеровка, флотореагенты, электроэнергия/;

в) от снижения расходов по заработной плате;

П. Из дополнительных затрат:

а) от увеличения амортизационных отчислений и затрат на текущий ремонт за счет установки дополнительного оборудования /грохоты, насосы/;

б) от увеличения расхода электроэнергии при установке дополнительного оборудования.

Экономическая эффективность, рассчитанная по методике, утвержденной ГНТК Совета Министров, составила 916.5 тыс.руб при производительности фабрики 3000 т/сут.

1. В результате лабораторных и полупромышленных исследований экспериментально и аналитически определена возможность, условия и разработана методика физического моделирования процесса самоизмельчения руд в мельнице типа Каскад. Получены математические зависимости размера рудных обломков исходного питания, крупности разгрузки и диаметра мельницы типа Каскад.

2. Изучен механизм и кинематика работы мельницы типа Каскад при каскадном, каскадно-водопадном и водопадном режимах работы. Определено уравнение граничной линии уплотненной и каскадирующей зон загрузки и условие сохранения каскадного режима. Выведено уравнение траектории движения рудных обломков в мельнице типа Каскад при различных параметрах механического и скоростного режимов работы, а также координаты основных точек траектории движения.

3. Определены отрицательные стороны гладкой футеровки, оптимальная высота лифтеров и расстояние между лифтерами ребристой футеровки. Выявлено, что оптимальным отношением расстояния между лифтерами к их высоте равно 9.8. Оптимальная высота лифтеров равна 0.04 от диаметра мельницы.

4. Установлен экспоненциальный характер основного уравнения кинетики самоизмельчения. Подтверждена возможность применения при изучении самоизмельчения общего уравнения, выведенного В.В.Товаровым. Найдены эмпирические зависимости степенного коэффициента от относительной скорости самоизмельчения и расчетной крупности разгрузки мельницы. Предложена аналитическая формула расчета удельной производительности мельницы типа Каскад.

5. Определены оптимальные величины режимных параметров работы мельницы типа Каскад для случая самоизмельчения руд различного вещественного состава.

6. Выявлено, что полное рудное самоизмельчение по сравнению с обычными методами обеспечивает получение более качественного готового продукта, способствует снижению шламообразования.

7. Изучено влияние гранулометрического состава исходного питания на эффективность работы мельницы типа Каскад и характер разрушения рудных обломков при самоизмельчении. Даны практические рекомендации по подготовке и ведению процесса самоизмельчения в оптимальных режимах.

Основные положения диссертационной работы
опубликованы в статьях

1. П.С.Кинжалов, К.Л.Ястребов и др. Некоторые данные по испытанию новых способов измельчения алмазосодержащих руд. - Научные труды Иргиредмета 1966, вып.16.

2. К.Л.Ястребов. О бесшаровом измельчении в каскадной мельнице. - Обогащение и металлургия полезных ископаемых. Сб. тр.ИПИ, 1969, вып.46.

3. К.Л.Ястребов, М.Л.Певзнер. Промышленные испытания бесшарового измельчения алмазосодержащих руд в мельнице типа Каскад. - Обогащение и металлургия полезных ископаемых. Сб. тр.ИПИ, 1969, вып.46.

4. М.Л.Певзнер, К.Л.Ястребов. Полупромышленные испытания процесса самоизмельчения руд редких металлов в мельнице Каскад. - Цветная металлургия, 1970, № 17.

5. К.Л.Ястребов, М.Л.Певзнер. Некоторые закономерности самоизмельчения руд цветных металлов. - "Молодежь-производству", юбилейный сборник трудов Иргиредмета, 1970.

6. М.Л.Певзнер, К.Л.Ястребов. Влияние плотности пульпы на работу мельницы типа Каскад. - Сб.статей "Опыт дробления, измельчения и самоизмельчения руд цветных металлов", Цветметинформация, Москва, 1971г.

Материалы диссертационной работы докладывались:

1. На техническом совещании при главном инженере треста "Союзплавик", г.Чита, 1970.

2. На научно-технической конференции Иргиредмета, 1970.

3. На техническом Совете Читинского филиала ВНИИПрозолото, 1971

4. На научном Совете Читинского филиала политехнического института, 1971.

5. На научно-техническом Совете секции обогащения института ЦИИМОЛОВО, 1971.

6. На научной сессии, посвященной 100 летию Иргиредмета, 1971

7. В виде лекций на факультете повышения квалификации в Иркутском политехническом институте, 1969, 1970, 1971.

Диссертация рассматривалась на ИТС секции обогащения института Иргиредмет 5 мая 1971 г. и на заседании кафедры обогащения полезных ископаемых Иркутского политехнического института 21 июня 1971г.

Вак. № 291 от 6/УП-71 г.
Тир. 250 экз. Ротапринтная ДИПТИ Вост.-Сиб.ж.д.
Объем 1,56 уч.мад. Подписано к печати 2/УП-71 г.
№ № 01076