

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

На правах рукописи

СОКИЛ Александр Михайлович

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СТРУЙНЫХ
СЕПАРАТОРОВ
ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ
ТИТАН-ЦИРКОНОВЫХ ПЕСКОВ

05.15.11 — «Физические процессы горного производства»
05.15.08 «Збагащення корисних копалин»

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



00752111 (Н)

Диссертацией является рукопись
 Работа выполнена на Вольно
 таллургическом комбинате

Научный руководитель: академик НАН Украины,
 доктор технических наук, профессор
 ПОТУРАЕВ Валентин Никитич

Официальные оппоненты: доктор технических наук
 ТУРКЕНИЧ Александр Михайлович
 кандидат технических наук
 ПОЛУЛЯХ Александр Данилович

Ведущее предприятие - Институт "Механообрчермет",
 г. Кривой Рог

Защита диссертации состоится "11" апреля 1997 г. в 10⁰⁰ часов
 на заседании специализированного совета Д 03.10.02 при
 Институте геотехнической механики НАН Украины по адресу:
 320095, г. Днепропетровск, ул. Симферопольская, 2а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
 геотехнической механики НАН Украины по адресу:
 320095, г. Днепропетровск, ул. Симферопольская, 2а.

Автореферат разослан " 7 " МАРТА 1997 г.

Ученый секретарь
 специализированного совета,
 кандидат технических наук

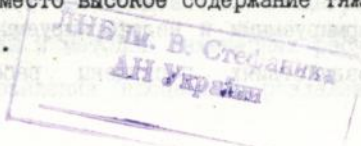
В.Г. Перепелица

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень изученности тематики. Развитие различных отраслей народного хозяйства определяется возможностью использования материалов со специальными свойствами. Среди этих материалов следует выделить сплавы на основе титана и циркония, которые применяются в условиях необходимого обеспечения высокой температурной прочности, в том числе и для управления атомными реакторами. Для Украины, где развиты отрасли ракетостроения, двигателестроения, атомной энергетики и т.д., проблема получения металлического титана и циркония все еще не решена, что приводит к приобретению соответствующего проката за рубежом.

В настоящее время добыча и обогащение россыпей, содержащих минералы рутила и ильменита (титаносодержащие), циркона, осуществляется на Вольногорском и Иршанском горно-металлургических комбинатах. На Вольногорском государственном горно-металлургическом комбинате (ВГТМК) первичное обогащение россыпей осуществляется на многоярусных конструкциях конусных сепараторов с получением вначале "чернового", а затем "коллективного" концентрата.

Отмытые от глины и предварительно расклассифицированные по крупности титан-цирконовые пески характеризуются существенными вариациями своих свойств, что приводит к высокому уровню колебаний свойств пульпы, подаваемой на сепараторы. Это обстоятельство, в свою очередь, определяет изменения качества обогащения россыпей, что при статической конструкции сепаратора приводит к многократным перечисткам, так как в противном случае имело бы место высокое содержание тяжелых фракций в отходах обогащения.



Указанные выше технологические условия эксплуатации сепараторов для обогащения россыпей требуют эффективных систем регулирования параметров сепараторов в зависимости от характеристик пульпы отмытых песков, что является актуальной научно-технической задачей.

Совершенствование технологий гравитационного обогащения минерального сырья определяется использованием технических средств, которые объединены и способны при существенных колебаниях параметров исходного сырья обеспечить получение качественных продуктов обогащения. Однако все еще не удается реализовать эту программу, так как гидродинамические процессы в струйном течении пульпы по поверхности сепаратора изучены недостаточно, конструкции сепараторов статичны, а их параметры научно не обоснованы, что приводит к режимам потери устойчивости течения и, соответственно, к высокому уровню колебаний качества разделения пульпы. Подобное положение требует, прежде всего, теоретических и экспериментальных исследований гидродинамических процессов в пульпе.

В многочисленных исследованиях отечественных и зарубежных ученых нашли отражение результаты по влиянию параметров технологических схем и аппаратов на эффективность гравитационных технологий обогащения. Среди этих работ следует выделить труды Н.Г.Бедраня, Р.О.Берта, А.Д.Богатова, Н.Н.Виноградова, А.И.Денисенко, Ю.Г.Зубынина, Б.В.Кизевальтера, А.Г.Лопатина, П.В.Ляшенко, П.И.Пилова, А.Д. Полуляха, С.И.Полькина, В.Н.Потураева, Э.Райхерта, А.М.Туркенича, Т.Ферри, А.Н.Шломина, В.Н.Шохина и др.

Моделированию процессов в неоднородных жидкостях с деформируемыми и недеформируемыми включениями, при различных воздействиях посвящены работы Г.Л.Бабуха, Б.А.Блюсса,

В.Н.Буйвола, Л.Б.Гавина, Р.Ф.Ганиева, С.И.Криля, В.Д.Кубенко, Н.Н. Лычагина, Н.А.Силина, Л.Е.Украинского, А.А.Шрайбера и др., в которых отражены результаты теоретических и экспериментальных исследований. Результаты этих работ используются для разработки и совершенствования гравитационных технологий обогащения полезных ископаемых, в том числе угля, руды и россыпей.

В гидродинамике струйных течений большую значимость имеют результаты по соударению струй и струйным усилителям, где струей малого напора регулируют движение высоконапорной струи. Известными специалистами в этой области проблем являются П.М.Белоцерковский, О.Г. Гомэн, Н.И.Гуревич, О.М. Киселев, Л.М. Котляр, Г.Ю. Степанов, М.И.Хмельчин, Д.С. Цельник, которыми получены как теоретические, так и экспериментальные результаты, используемые в различных областях техники.

Обзор и анализ гидродинамических моделей в струйных течениях неоднородных жидкостей, разработанных конструкций сепараторов для обогащения россыпей показывает, что одновременно с существенными результатами совершенно неудовлетворительно представлены результаты моделирования гидродинамических эффектов взаимодействия струй, исследования устойчивости расслоившегося неравномерного течения пульпы. В частности, на существующих конструкциях конусного сепаратора, как правило, реализуются режимы потери устойчивости течения, что приводит к гидравлическому прыжку в разгрузочном сечении и перемешиванию расслоившейся пульпы.

Цель и основные задачи исследований. Целью работы является изучение процессов струйного взаимодействия неоднородных потоков, разработка моделей и методов инженерных расчетов, технических средств управления процессом разделения

расслоившейся пульпы и обоснование параметров сепаратора для обогащения титан-цирконовых россыпей.

Для ее реализации поставлены и решены следующие задачи:

1. Выполнить исследования процессов истечения жидкости через щель с уступом, бокового истечения через щель в плоскости и с уступом.

2. Разработать гидродинамические модели процессов взаимодействия расслоившейся пульпы с однородной поддерживающей и запирающей струей, а также истечения жидкости в спутный поток, в том числе, через щель с уступом.

3. Провести исследования процесса обогащения россыпей на сепараторе с регулируемой струйной разгрузкой продуктов обогащения, регрессионное моделирование зависимостей показателей обогащения россыпей от параметров питающей пульпы, конструктивных параметров сепаратора и струйной разгрузки продуктов обогащения.

4. Разработать инженерную методику расчета параметров сепаратора и пакет программ расчета его параметров для эффективного обогащения россыпей и получения концентратов.

Основная идея работы заключается в использовании гидродинамических эффектов взаимодействия неоднородных и однородных струй, выражающихся в поддерживающем и запирающем влиянии струи воды на струю пульпы с высоким содержанием тяжелых фракций, что позволяет стабилизировать показатели разделения пульпы.

Обоснование теоретической и практической ценности исследований и его научная новизна. Научное значение работы состоит в разработке моделей струйного течения пульпы по криволинейной поверхности и взаимодействия однородных и неоднородных струй; в определении взаимосвязи параметров пульпы,

сепаратора и поддерживающей струи, при которых достигается повышение извлечения тяжелых фракций в промпродукт на стадии получения "чернового" концентрата.

Практическое значение работы заключается в разработке принципов и технических средств регулирования потоков концентрата и промпродукта при взаимодействии расслоившейся пульпы с однонаправленным течением однородной жидкости; разработке средств эффективного разделения расслоившихся течений и определении рациональных параметров поддерживающей и запирающей струи.

Научная новизна:

1. Впервые разработана математическая модель процессов струйного течения, расслоения и разделения титан-цирконовой пульпы при взаимодействии с однородной поддерживающей и запирающей струей.

2. Впервые установлены зависимости коэффициента расхода пульпы при истечении потока через щель с уступом в зависимости от угла уступа. Наличие спутного потока почти для всех значений углов уступа приводит к уменьшению расхода истекающей струи.

3. Определены взаимосвязи параметров пульпы, сепаратора и поддерживающей струи, позволяющие прогнозировать извлечение и содержание тяжелых фракций в продуктах разделения.

4. Установлены и подтверждены в промышленных исследованиях многофакторные корреляционные зависимости показателей обогащения от параметров пульпы и сепаратора.

5. Разработана инженерная методика и пакет прикладных программ расчета параметров сепаратора со струйной разгрузкой продуктов обогащения на основе использования поддерживающих и запирающих спутных потоков однородной жидкости.

Уровень реализации и внедрения научных разработок. Методика и пакет прикладных программ расчета сепаратора с регулируемой струйной разгрузкой продуктов обогащения переданы и используются в институте "Механобчермет" для совершенствования гравитационных обогатительных аппаратов и в институте "Гипромашобогащение" в разработках новых технических средств для обогащения углей.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы были представлены и докладывались на научных семинарах Института геотехнической механики НАН Украины, институтов "Механобчермет", "Гипромашобогащение", Донецкого государственного технического университета, на научно-технических советах ВГТМК, Запорожского титано-магниевого комбината, II Международной научно-практической конференции "Теория и практика решения экологических проблем в горнодобывающей и металлургической промышленности (г. Днепрпетровск, 1995), III Международной научно-технической конференции "Экологические аспекты загрязнения окружающей среды" (г. Киев, 1996). Основные положения диссертации изложены в 5 печатных работах.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, содержит 208 страниц машинописного текста, 19 рисунков, 19 таблиц, список использованной литературы из 94 наименований, пять приложений на 52 страницах.

Декларация о личном вкладе в разработку научных результатов. Автором определены цель, идея работы, сформулированы задачи исследований, научные положения, выводы, получены и проанализированы результаты теоретических и экспериментальных исследований, разработана методика расчета параметров сепаратора для обогащения россыпей.

Методология, методы исследования предмета и объекта.

Методология и методы исследования. В работе применен комплексный метод исследований, состоящий в анализе и обобщении результатов научно-технических достижений, основных положений гидродинамики с использованием численных методов в рамках модели стационарных течений идеальной несжимаемой жидкости в плоской постановке, методов планирования экспериментов и в экспериментальных исследованиях - методов математической статистики.

Предмет и объект исследований: гидродинамические процессы в струйных течениях титан-цирконового пульпы, сепараторы со струйной разгрузкой расслоившейся пульпы на запирающей и поддерживающей воздушной и водяной струе, жестких препятствиях; процессы и параметры гидродинамического взаимодействия пульпы с поддерживающей струей.

Автор выражает благодарность работникам ВГТМК за практическую помощь в реализации результатов диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Эффективное обогащение титан-цирконового песков достигнуто за счет регулируемой струйной разгрузки продуктов обогащения, а также за счет применения сепараторов с рациональными конструктивными параметрами, обоснованными в процессе моделирования гидродинамических эффектов при разделении пульпы.

Основные научные положения, защищаемые в диссертации:

I. Коэффициент расхода (K_c) при истечении безграничного потока в спутный безграничный поток через щель с уступом имеет максимум при углах уступа (ψ) в диапазоне $\psi = 80^\circ - 100^\circ$ при

всех значениях кинематического параметра $\xi = \frac{v_{\infty}}{v_c}$, где v_{∞} - скорость потока в бесконечно удаленной точке верхнего полупространства, v_c - скорость на границе струи.

2. Наличие спутного потока почти для всех значений углов уступа приводит к значительному уменьшению расхода через струю. При истечении струи из плоской стенки без уступа коэффициент расхода уменьшается от значения $K=0,611$ (для случая истечения в покоящуюся среду) до значения $K=0,324$ (для случая истечения в спутный поток). Тормозящее действие нижнего "управляющего" потока на истекающую струю уменьшается по мере роста положительных значений угла φ .

Задачи истечения жидкостей и взаимодействия струй возникают во многих отраслях промышленности. Особое значение эти задачи приобретают в технологии обогащения полезных ископаемых, где основным способом извлечения полезного продукта из пульпы является разгрузка обогащенного этим продуктом слоя через щель в поверхности сепаратора. Истечение потока жидкости через щель определяется целым рядом геометрических, кинематических и динамических параметров. К числу последних относятся число Фруда и число Рейнольдса.

Специфика задач истечения заключается в наличии свободных границ, форма которых заранее неизвестна и может изменяться в значительных пределах в зависимости от условий задачи. Присутствие свободных границ делает задачу существенно нелинейной, что сильно затрудняет или вообще ставит под сомнение возможность применения к такой задаче известных численных процедур вычислительной гидромеханики. Поэтому рассмотрим задачи истечения для идеальной несжимаемой жидкости, в результате чего удастся получить точные аналитические решения, которые позволяют выяснить основные закономерности

истечения в зависимости от геометрических и некоторых кинематических параметров.

Рассмотрена задача о влиянии на истечение струи воздействия на нее дополнительной "управляющей" струи. Использование такой "управляющей" струи может рассматриваться как один из возможных способов регулирования величины расхода основной жидкости, истекающей через отверстие: за счет взаимодействия струй в очаге истечения создается повышенное давление, которое в значительной мере определяет величину расхода.

Рассмотрены частные случаи организации управления струй, а именно:

а) жидкость управляющей струи имеет ту же плотность, что и жидкость, истекающая через щель;

б) и основная, и управляющая жидкости до места их встречи движутся параллельно, с двух сторон от плоской границы:

в) константы Бернулли у обоих потоков одинаковы.

Исследование задач истечения выполнено в рамках модели стационарных течений идеальной несжимаемой жидкости в плоской постановке. Основным инструментом для решения указанных задач является метод Жуковского и теория функции комплексного переменного.

В аналитическом виде проведен анализ следующих гидродинамических процессов:

а) истечение невесомой безграничной жидкости через щель с уступом в покоящуюся среду;

б) истечение безграничной жидкости в спутный безграничный струйный поток.

Истечение происходит из верхнего полупространства, которое занимает безграничная жидкость с давлением P_0 и плотностью ρ , через щель с уступом в нижней стенке в нижнее полу-

пространство, с жидкостью с более низким давлением, чем в жидкости истекающей.

В зоне взаимодействия "управляющей" струи с управляемой возникает повышенное давление, которое может создать по меньшей мере запирающий эффект, ведущий к изменению расхода в истекающей струе в сторону уменьшения.

Геометрию щели удобно характеризовать углом уступа φ и полной шириной проходного сечения $\ell = (\ell_1^2 + \ell_2^2)^{1/2}$. В верхнем полупространстве, отделенном от области низкого давления двумя параллельными полуплоскостями НА и ВН, скорость жидкости, ее давление на большом расстоянии от щели соответственно равны V_∞ и P_∞ . В нижнем полупространстве движется поток той же жидкости со скоростью V_2 и статическим давлением P_2 .

Коэффициент расхода:

$$K_c = \frac{Q_2}{\ell V_2}, \quad (1)$$

где Q_2 - сток интенсивности.

Рассматриваем его как функцию только геометрического параметра φ , при этом:

$$K_c = \frac{1}{(f_1^2 + f_2^2)^{1/2}}; \quad \cos \varphi = f_1 K_c; \quad (2)$$

где, в свою очередь: $f_1 = \ell_1/\delta_2$ и $f_2 = \ell_2/\delta_2$, δ_2 - толщина вытекающей струи в нижнем полупространстве; $\delta_2 = Q_2/V_2$.

В результате решения уравнения (2) получено, что при истечении струи из плоской стенки без уступа ($\ell_2 = 0$) коэффициент расхода уменьшается от значения $K = 0,611$ (для случая истечения в покоящуюся среду) до значения $K = 0,324$ (для случая истечения в спутный поток). При отрицательных углах истечение струи происходит навстречу набегающему спутному потоку.

Влияние спутного потока на величину коэффициента расхода

в струе практически прекращается при углах $\varphi > 100^\circ$. Максимальное значение коэффициента расхода при наличии спутного потока составляет $K_{e_{max}} = 0,522$ и достигается при углах $\varphi = 75^\circ - 85^\circ$ (против значения $K_e = 0,565$ для $\varphi = 75^\circ$ в случае отсутствия спутного потока). Полученные результаты свидетельствуют о широких возможностях управления расходом истекающей жидкости путем организации воздействия на нее управляющего потока.

В случае, если полные давления в верхнем и нижнем потоках одинаковы, то области изменения функции Жуковского w , параметра t и переменной W представлены на рис. 1.

Функция Жуковского имеет вид:

$$w = \ln \left(v_2 \frac{dz}{dw} \right); \quad w(t) = \ln \frac{\sqrt{t} + \sqrt{f}}{\sqrt{t} - \sqrt{f}}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = C_1 \frac{(t-f)(t-a)}{(t-h)^2} = C_1 \left(1 + \frac{M}{t-h} + \frac{N}{(t-h)^2} \right); \quad \left. \begin{array}{l} M = 2h - a - f \\ N = (h-f)(h-a) \end{array} \right\} (4)$$

На границе ВН возникает точка торможения потока F , разделяющая верхний поток на две части: нижняя часть с конечным расходом q_2 истекает через щель, а верхняя часть уходит снова в бесконечность.

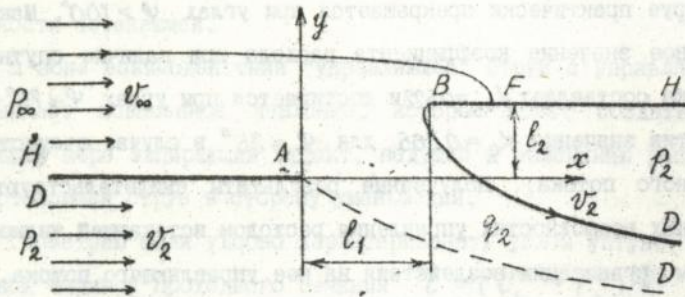
Связь между параметрами h и f следующая:

$$\ln \frac{\sqrt{h} + \sqrt{f}}{\sqrt{h} - \sqrt{f}} = \ln \frac{v_2}{v_\infty}, \quad (5)$$

или $f = h \left[\frac{1 - \varepsilon}{1 + \varepsilon} \right]^2$, $\varepsilon = v_\infty / v_2 < 1$.

Возрастание коэффициента расхода при положительных значениях φ с ростом скорости v_∞ объясняется "эффектом заборника": при $v_\infty / v_2 \rightarrow 1$ коэффициент $K_e \rightarrow 1$, поскольку в этом случае соответствующая часть набегающего потока непосредственно попадает в "канал заборника" между двумя пластинами АН и ВН.

Наиболее интересен факт, что для каждого фиксированного



а) Область течения

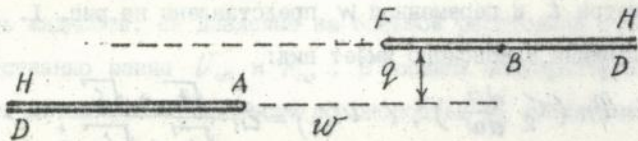
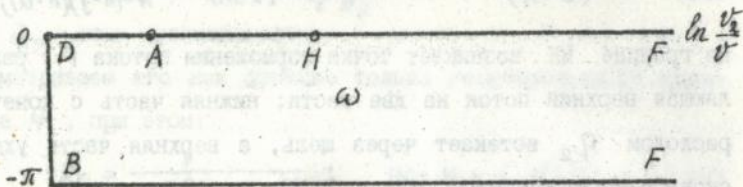
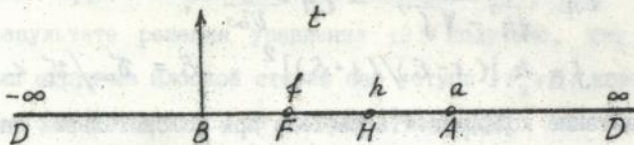
б) Область переменного w в) Область переменного Жуковского ω г) Область вспомогательного переменного t

Рисунок I- Схема истечения безграничного потока через щель с уступом в спуганный поток

$\varepsilon = v_\infty/v_c'$ (кроме $\varepsilon = 0$) существует такое отрицательное значение φ , при котором происходит полное заграждение истекающего потока.

Важной характеристикой разделения исходного потока является положение точки торможения потока F . Получено, что только при малых значениях $\varepsilon = v_\infty/v_c' < 0,1$ величина расстояния S_F точки F от кромки B имеет порядок ℓ ; для $v_\infty/v_c' > 0,2$ величина S_F на порядок, а то и на два меньше, чем размер щели ℓ (то есть точка торможения потока почти во всех случаях фактически находится на острой кромке B). Только при значениях $\varepsilon < 0,05$ величина S_F/ℓ резко возрастает и стремится к бесконечности при $\varepsilon \rightarrow 0$.

На рисунке 2 представлена полученная теоретически зависимость коэффициента расхода K_c при истечении безграничного потока в спутный безграничный поток через щель с уступом от величины угла φ для определенных значений кинематического параметра $\varepsilon = v_\infty/v_c'$, которая имеет максимум для углов φ в диапазоне $\varphi = 80^\circ - 100^\circ$.

Результаты моделирования гидродинамических процессов представлены в замкнутом аналитическом виде, а результаты расчетов представляют собой зависимости коэффициента расхода от геометрических параметров щели и отношения скоростей истекающего и управляющего потоков. Данные результаты дают возможность определить количественное и качественное влияние различных параметров на величину расхода истекающей струи и позволяют оценить эффективность и диапазон управления величиной расхода в этой струе при помощи воздействия на нее управляющей струи.

При выполнении экспериментальной части работы исследовались процессы разделения расслоившейся пульпы на поддерживающих воздушной и водяной струях. Проведены эксперименты по

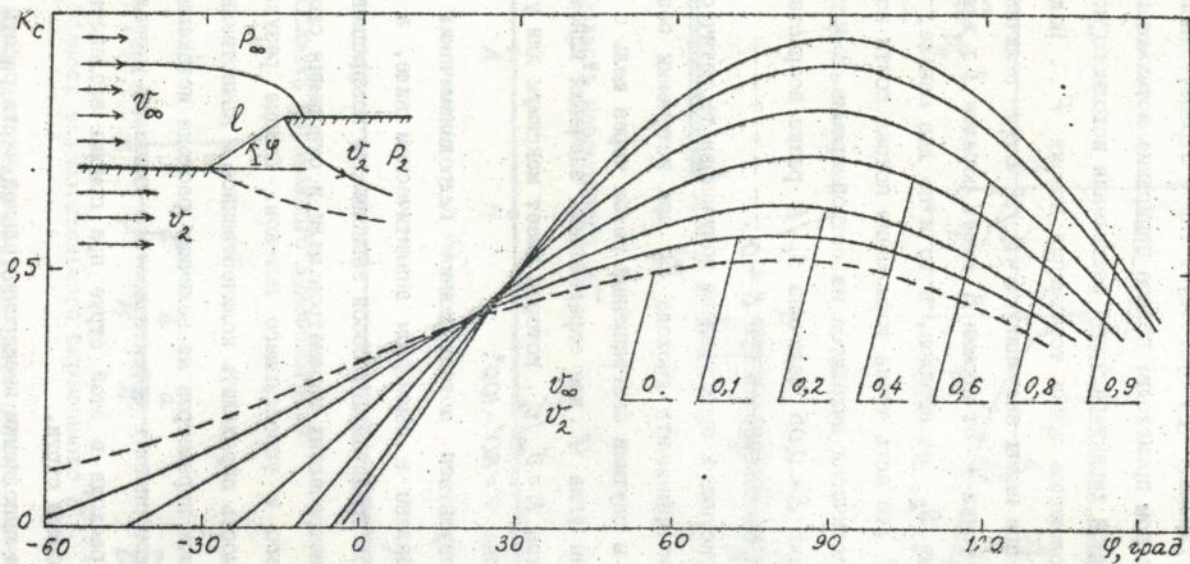


Рисунок 2 - Коэффициент расхода при истечении безграничного потока в слутный безграничный поток

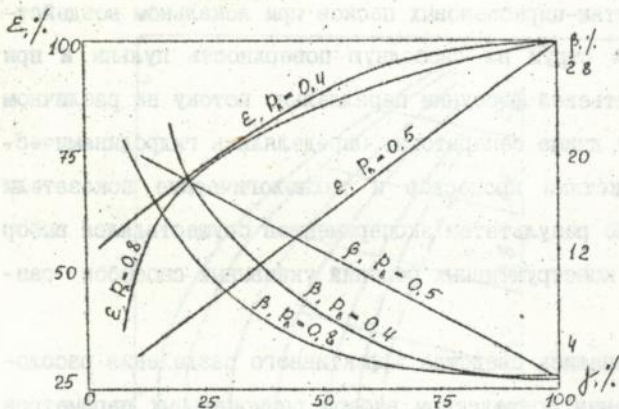
разделению титан-цирконовых песков при локальном воздействии воздушной струи на свободную поверхность пульпы и при размещении дутьевой форсунки параллельно потоку на различном расстоянии от днища сепаратора. Определялись гидродинамические характеристики процессов и технологические показатели обогащения. По результатам экспериментов осуществлялся выбор рациональных конструктивных решений указанных способов разделения.

Разрабатывались средства эффективного разделения расслоившегося течения посредством выбора рациональных параметров поддерживающей и запирающей водяной или воздушной струи. Анализ результатов проводился на основе статистической оценки по показателям обогащения (рис. 3,4). При проведении экспериментов варьировались угол наклона желоба сепаратора, давление водяной и воздушной струи.

По результатам гидродинамических исследований получены зависимости, позволяющие оценивать расходы потоков пульпы, концентрата и промпродукта с целью их регулирования при взаимодействии расслоившейся пульпы со спутной воздушной и водяной струями. Определены взаимосвязи параметров пульпы, сепаратора и поддерживающей струи, при которых достигается повышение извлечения тяжелых фракций в промпродукт.

Сравнение полученных результатов обогащения на водяной струе с аналогичным разделением на воздушной струе выявило преимущества использования водяных струй для получения более качественных концентратов, что связано с меньшей турбулизацией расслоившихся потоков.

Результаты экспериментов по разделению пульпы на воздушной и водяной струях представлены в виде графиков и линейных уравнений регрессии, устанавливающих взаимосвязь конструк-

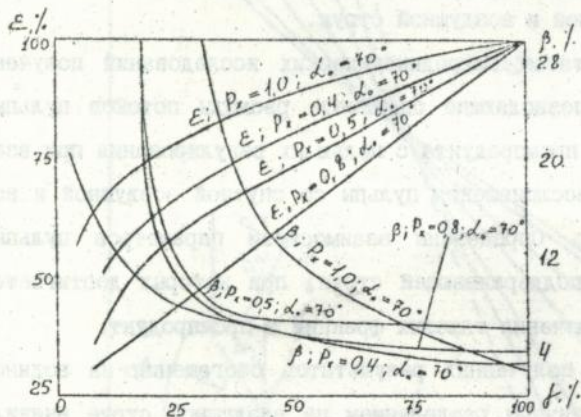


β - содержание тяжелой фракции, %;

γ - выход, %;

ϵ - извлечение, %; P_0 - давление в водной струе, атм.

Рисунок 3 - Показатели обогащения при разделении на водной струе



P_2 - давление в воздушной струе, атм.

α_0 - угол наклона желоба

Рисунок 4 - Показатели обогащения при разделении на воздушной струе

тивных параметров сепаратора, гидродинамических и технологических показателей процессов. Проведена оценка адекватности полученных зависимостей исследуемым процессам.

Опираясь на результаты лабораторных исследований, были проведены промышленные технологические испытания способа струйной разгрузки продуктов обогащения отмытых титанцирконовых песков на конусных сепараторах и на стенде струйного сепаратора. Испытания проведены в один прием обогащения для пульпы со следующими параметрами: содержание тяжелых фракций в пределах $(6,1 + 16,17)\%$, при крупности 98% класса менее 0,3 мм.

Стенд струйного сепаратора изготовлен в виде сектора конусного сепаратора и представлял собой желоб с углом сужения 8° , длиной 1,1 м при ширине загрузочного и разгрузочного сечения 0,09 и 0,01 м соответственно. На стенде обеспечена возможность изменения угла наклона к горизонту и гибкое подключение форсунок к магистральным воздушной и водяной трассам. Давление в воздушной струе изменялось от 0,1 до 0,4 атм, а в водяной 0,1-2,1 атм. Конструкция разделяющего элемента выполнена с возможностью его перемещения вдоль желоба и в его разгрузочном сечении. Сравнение результатов проводилось для сепаратора с наличием разделяющих элементов и без таковых.

Промышленные испытания стенда струйного сепаратора показали, что технологический эффект состоит в том, что на нем удается получить отходы обогащения ($\beta \leq 1,43\%$) с размером частиц меньше 0,3 мм. Выведение этого продукта в поток отходов обогащения снижает общую циркуляцию. Вместе с тем установлено, что на сепараторе со струйным разделением продуктов через концентратную шель можно выделить пульпу с таким со-

держанием тяжелой фракции, что ее можно подать на сгущение и далее на пересчетку на конусных сепараторах. В результате одновременного выведения отвальных хвостов возможно снижение нагрузки на пересчетные ярусы конусного сепаратора и одновременное повышение эффективности обогащения.

По результатам выполненных исследований разработана "Методика расчета параметров сепаратора со струйной разгрузкой продуктов обогащения", обеспечивающая возможность расчета конструктивных, гидродинамических и технологических характеристик аппарата в зависимости от исходных параметров пульпы. В методике отражена возможность управления характеристиками продуктов обогащения посредством изменения параметров поддерживающей струи при изменении исходных величин. Методика принята к использованию институтами "Механобрчермет" и "Гипромашобогащение".

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается применением для теоретических исследований апробированных методов гидродинамики, в том числе теории пограничного слоя, корректностью постановок задач течения двухфазной жидкости по криволинейной поверхности и задач соударения струй идеальной жидкости с различными плотностями; использованием методов математической статистики с определением доверительных вероятностей и интервалов для уравнений регрессионных зависимостей показателей разделения пульпы, использованием средств вычислительной техники; положительными результатами технологических испытаний сепаратора со струйной разгрузкой в промышленных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научной задачи, состоящей в разработке гидродинамических моделей процессов струйного взаимодействия титан-цирконовых пульпы с однородной поддерживающей и запирающей струей и методов расчетов конструктивных, гидродинамических и технологических параметров струйной сепарации россыпей с использованием гидродинамических эффектов для управления процессом разделения. Полученные результаты позволяют обоснованно выбрать рациональные параметры сепараторов, а также параметры регулирования струйной разгрузки продуктов обогащения.

Итоговые выводы исследований, выполненных в соответствии с поставленными задачами, заключаются в следующем:

1. Разработана гидродинамическая модель расслоения и разделения струйного течения пульпы при взаимодействии с поддерживающей и запирающей струей с разгрузкой продуктов обогащения через щель с уступом. Решения получены в замкнутом аналитическом виде и результаты представлены в виде зависимости коэффициента расхода от геометрических параметров щели и отношения скоростей истекающего и управляющего потоков.

2. Установлено, что коэффициент расхода (K_c) при истечении безграничного потока в спутный безграничный поток через щель с уступом имеет максимум при углах уступа (φ) в диапазоне $\varphi = 80^\circ - 100^\circ$ при всех значениях кинематического параметра $\varepsilon = U_\infty / U_c$, где U_∞ - скорость потока в бесконечно удаленной от щели точке, U_c - скорость на границе струи.

Теоретически установлено, что наличие спутного потока почти для всех значений углов уступа φ приводит к значительному уменьшению расхода через струю. При истечении струи из

плоской стенки без уступа коэффициент расхода уменьшается от значения $K = 0,611$ (для случая истечения в покоящуюся среду) до значения $K = 0,324$ (для случая истечения в спутный поток). Тормозящее действие нижнего "управляющего" потока на истекающую струю уменьшается по мере роста положительных значений угла φ .

3. Разработаны технические средства для регулирования процесса разделения рудной пульпы на сепараторе и экспериментально определены рациональные параметры поддерживающей и запирающей струи.

Установлено, что разделение расслоившегося потока пульпы на поддерживающей и запирающей струе воды характеризуется линейными зависимостями извлечения твердой фракции от нагрузки на сепаратор, угла наклона желоба и давления струи.

Разработаны статистические регрессионные модели разделения расслоившейся пульпы на воздушных и жидкостных рассекателях, при этом сравнение результатов в оценке по показателям обогащения выявило ряд преимуществ последних.

4. Исследования технологических характеристик процесса обогащения россыпей на сепараторе с регулируемой струйной разгрузкой продуктов показали принципиальную возможность автоматической подстройки качества продуктов к изменению входных параметров пульпы, поскольку они, в свою очередь, определяют параметры гидродинамического взаимодействия пульпы с поддерживающей струей.

Определены многофакторные корреляционные взаимосвязи параметров пульпы, сепаратора и поддерживающей струи, позволяющие прогнозировать извлечение и содержание тяжелых фракций в продуктах обогащения.

5. Разработана инженерная методика расчета параметров

сепаратора с регулируемой струйной разгрузкой продуктов обогащения, в основе которой лежат полученные решения гидродинамических задач истечения жидкости через щель с уступом и в спутный поток и восстановленные регрессионные зависимости для показателей обогащения, которые получены на основе экспериментальных исследований.

Методика и пакет прикладных программ расчета сепаратора переданы и используются в институтах "Механобрчермет" для совершенствования гравитационных обогатительных аппаратов и "Гипромашобогащение" - для разработки новых технических средств обогащения углей.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ, ОТРАЖАЮЩИХ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ.

Статьи и доклады

1. Потураев В.Н., Сокил А.М. Численный анализ двухслойных течений с непрерывной эпурой скорости // Институт геотехнической механики НАН Украины. - Днепропетровск. - 1996 - 8с. - Деп. в ГНТБ Украины 28.02.96 N660 - Ук 96. Деп.
2. Сокил А.М., Блюсс Б.А. Исследование влияния плотности и содержания тяжелых минералов на оптимальные параметры экологически чистых струйных аппаратов // Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. "Экологические аспекты загрязнения окружающей среды". - Киев, 1996, 26-27 марта.
3. Блюсс Б.А., Сокил А.М. Экспериментальные исследования процесса разделения пульпы струйным концентратором // Институт геотехнической механики НАН Украины. Днепропетровск. 1996. - 7с. - Деп. в ГНТБ Украины 28.02.96 N658 - Ук96. Деп.
4. Сокил А.М., Блюсс Б.А. Обоснование параметров струйных аппаратов для разделения россыпей // Тез. докл. II Меж-

дунар. научн.-практ. конф. "Теория и практика решений экологических проблем в горнодобывающей и металлургической промышленности". - Днепропетровск, 1995, 28-29 ноября.

5. Сокил А.М. Истечение невесомой жидкости в спутный безграничный поток // Препринт Института геотехнической механики НАН Украины. - Днепропетровск: ДГУ.-1996.-9с.

ANNOTATION

SOKIL A.M. Design of the processes and ground the parameters of the hydrodynamic stream separators for the titanium zirconium sand rishment (the manuscript).

The thesis for the defence of the candidate of technical science degree on speciality 05.15.11 - The physical processes of the mining industry. Institute of geotechnical mechanics of NAS. - Ukraine, 1997.

There is developed the mathematic models of the processes of movement, stratification and dividing up the pulpe stream current with the curvilinear surface. There are researched the technological characteristics of the depsit rishment processes by the separators with regulating stream relieve at aquatic and aerial locking up and supporting stream. There are developed the engineer methods and the packet of the programes of the calculation of the stream separator parameters taking as a starling point the solutions of the hydrodynamic problems and regressive dependences for the rishment indicators indexes.

АННОТАЦИЯ

СОКИЛ А.М. Моделирование процессов и обоснование параметров гидродинамических струйных сепараторов для обогащения титан-цирконоваых песков (рукопись).

Диссертация на соискание ученой степени кандидата техни-

АВТОРЕФЕРАТ

Відповідальний за випуск В. Г. Перепелиця

Підписано до друку 04.03.97. Формат 60x84/16. Папір друкарський. Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 1,0. Умовн. фарб.-відб. 1,0. Тираж 100. Замовлення N 294. Замовлене. ЗАТ Видавництво «Поліграфіст», 320070, м. Дніпропетровськ, вул. Серова, 7.

435849

AB 37.265