

**НАВОИЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ
КОМБИНАТ**
НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

УДК 662.2.022

На правах рукописи

ХАСАНОВОЙ ЛОБАР ГАЙБУЛЛАЕВНЫ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ОБОГАЩЕНИЮ РУДНЫХ ОТВАЛОВ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ УЧКУДУКА МЕТОДОМ ИНТЕНСИВНОЙ
ГРАВИТАЦИИ В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОНЦЕНТРАТОРАХ**

Специальность 5A540205-«Обогащение полезных ископаемых»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание степени магистра технических наук

Научный руководитель:

к.т.н. О.Ф.Петухов

Работа рассмотрена на заседании
кафедры №__ от «__»____2011г.
и рекомендуется к защите
_____ к.т.н. Донияров Н.А.
«__» _____ 2011 г.

Допускается к защите:

«__» _____ 2011г.
Начальник отдела магистратуры
к.т.н., доц. Нурмуродов Т.И.

Содержание

Введение.....	3
1. Литературный обзор.....	5
1.1. Принцип разделения частиц при гравитационном обогащении	5
1.2. Анализ процессов разделения золотосодержащих продуктов в концентраторах Knelson и Falcon SB	8
1.3. Установка, эксплуатация и обслуживание центробежных концентраторов.....	18
1.4. Использование центробежных концентраторов для обогащения полезных ископаемых.....	20
1.5. Выводы по данным научно – технической информации и постановка задач	34
2.5. Техника безопасности ведения работ.....	69
2.6. Экономическая оценка применения центробежных концентраторов для обогащения забалансовых руд Учкудука	75
Заключение.....	78
Список использованной литературы.....	79

ВВЕДЕНИЕ

Республика Узбекистан располагает практически всеми источниками минерального сырья, в том числе ураносодержащего сырья. Со времени начала освоения уранового месторождения Учкудука в районе города Учкудука скопилась более 10 млн. тонн забалансовых руд. С одной стороны забалансовых руд отрицательно влияют на окружающую среду путём пыления и радиоактивного излучения. Кроме того в отвалах находится примерно 3-6 тыс. тонн урана (U).

Актуальность работы заключается в проведении исследований и разработки на их основе эффективной технологии гравитационного обогащения забалансовых руд с получением уранового концентрата для дальнейшего извлечения урана.

Степень проработанности проблемы. В научно-технической литературе описаны способы гравитационного обогащения полезных ископаемых с использованием центробежных концентраторов для таких тяжелых металлов, как золото, тантал, платиноиды. Сведений по обогащению урановых руд с использованием центробежных концентраторов нами литературе не найдено.

Цель работы состояла в проведении исследований и разработке на их основе технологии гравитационного обогащения забалансовых ураносодержащих руд Учкудука с использованием центробежных концентраторов.

Методы исследований включают анализ научно – технической информации, методы анализа руд, концентрата и хвостов на содержание урана; проведение исследований по гравитационному обогащению забалансовых руд с использованием центробежных концентраторов с определением извлечения урана в концентрат.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые на реальных забалансовых рудах месторождения Учкудук проведены исследования по гравитационному обогащению урана с применением современных

центробежных концентраторов, получены экспериментальные данные по извлечению урана в концентрат и установлен выход концентрата.

Практическая значимость работы состоит в том, что на основании проведенных исследований разработана технологическая схема, рассчитан и выбран концентратор для обогащения забалансовых руд Учкудука.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Принцип разделения частиц при гравитационном обогащении

При разделении в любой гравитационной машине взвесь минеральных частиц в жидкости можно рассматривать как механическую систему тел, находящуюся в поле силы тяжести в неустойчивом равновесии. Такая система стремится занять положение устойчивого равновесия, достигаемого, согласно принципу Дирихле, при ее минимальной потенциальной энергии. Этому условию отвечает разделение взвеси на слои, в нижних из которых сосредотачиваются преимущественно частицы большей плотности, а в верхних – меньшей. Потенциальная энергия взвеси равна произведению веса частиц и расстояния от центра тяжести системы до выбранной горизонтальной плоскости. Убыль потенциальной энергии ΔE смеси из частиц двух плотностей, если принять, что до разделения тяжелые и легкие частицы распределены равномерно (рис. 1, а), в результате разделения составит (рис. 1, б)

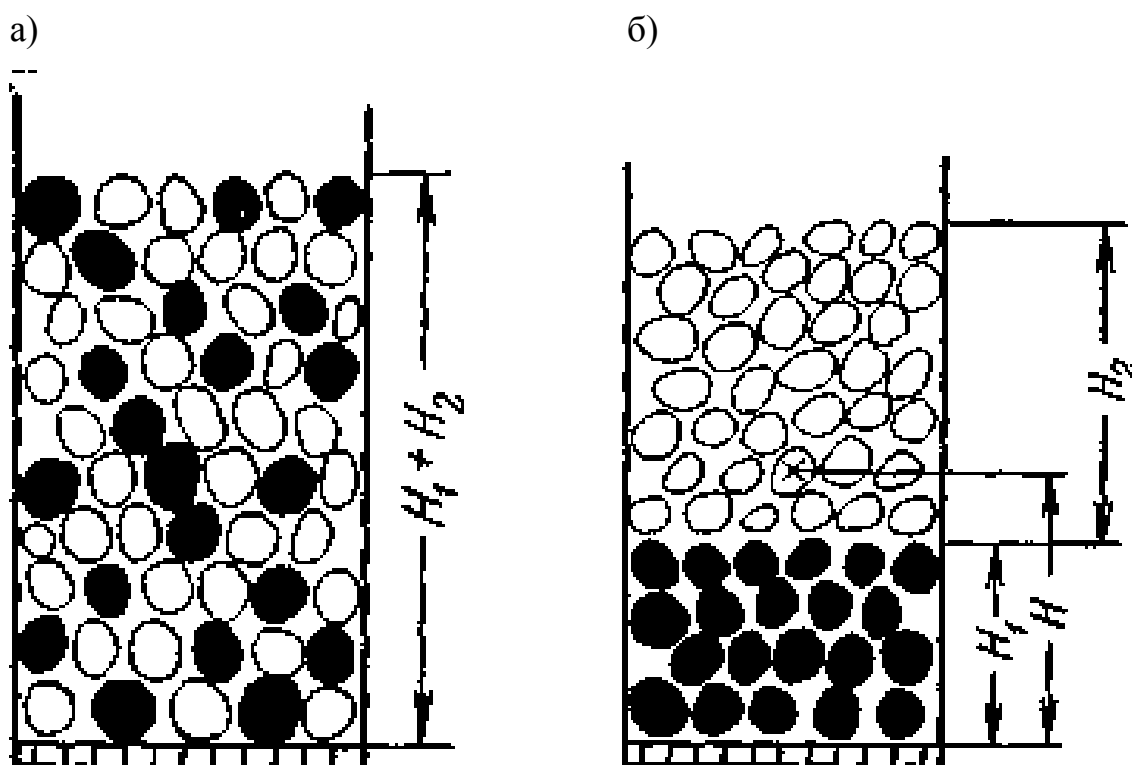


Рис.1. Распределение тяжелых и легких частиц до (а) и после (б) разделения смеси:

H_1 и H_2 – высота слоя соответственно тяжелых и легких частиц; H – высота положения центра тяжести (х)

$$\Delta E = (G_1 + G_2) \frac{H_1 + H_2}{2} - \left[G_1 \frac{H_1}{2} + G_2 \left(H_1 + \frac{H_2}{2} \right) \right] = \frac{1}{2} (G_1 H_2 - G_2 H_1) \quad (1)$$

где G_1 и G_2 вес соответственно тяжелых и легких частиц; H_1 и H_2 высота слоя соответственно тяжелых и легких частиц после разделения смеси.

При постоянном общем весе частиц в процессе разделения потенциальная энергия системы E будет определяться положением ее центра тяжести H , которое для условий полного разделения двухкомпонентной смеси частиц (см. рис. 1) находится из соотношения

$$H = \frac{E}{G_1 + G_2} = \frac{G_1 H_1 + G_2 (2H_1 + H_2)}{2(G_1 + G_2)} \quad (2)$$

При условии неизменности объемного содержания твердого во всех частях взвеси

$$H = \frac{H_1 + H_2}{2} * \frac{(\rho_{T1} - \rho_{T2})(1 - \alpha)^2 + \rho_{T2}}{\rho_{T1}(1 - \alpha) + \rho_{T2}\alpha}$$

где ρ_{T1} и ρ_{T2} – плотности компонентов, составляющих смесь ($\rho_{T1} > \rho_{T2}$); α – содержание компонента плотностью ρ_{T1} в исходной смеси, доли единицы.

Для бинарных смесей, содержащих частицы двух плотностей, с увеличением относительной разницы потенциальных энергии $\frac{\Delta E}{E_0}$ (E_0 – потенциальная энергия нерасслоенной смеси) эффективность процесса расслоения должна увеличиваться. С этой точки зрения, руды с малым или большим содержанием одного из разделяемых компонентов должны обогащаться с меньшей эффективностью, чем содержащие среднее его количество. Также должны хуже обогащаться руды с меньшей разницей в плотности разделяемых компонентов при одном и том же объемном содержании одного из них.

В практических условиях указанные общие закономерности несколько изменяются в связи с наличием в руде частиц различной крупности (мелкие легкие частицы могут занять промежутки между крупными тяжелыми) и промежуточной между разделяемыми компонентами плотности (сростков).

При разделении в движущейся жидкости (например, в восходящем потоке воды) следует также учитывать влияние гидродинамического сопротивления.

Кинетика разделения взвесей. Майером предложена (по аналогии с некоторыми другими физическими процессами) зависимость убывания потенциальной энергии системы от времени

$$\frac{d\Delta E_t}{dt} = -k\Delta E_t \quad (3)$$

где ΔE_t – разность потенциальных энергий системы в момент времени t и после разделения; k – коэффициент, не зависящий от времени.

Интегрирование этого уравнения дает следующие зависимости:

$$\Delta E_t = \Delta E e^{-kt} \quad (4)$$

$$y_t = \Delta H (1 - e^{-kt}) \quad (5)$$

где y_t – ордината центра тяжести в момент времени t (начало координат принято в центре нерасслоенной смеси);

ΔH – максимально возможная разность в положении центра тяжести системы.

Для двухкомпонентной смеси при условии неизменности объемного содержания твердого во всех частях взвеси

$$\Delta H = \frac{H_1 + H_2}{2} * \frac{(\rho_{T1} - \rho_{T2})\alpha(1 - \alpha)}{\rho_{T1}(1 - \alpha) + \rho_{T2}\alpha} \quad (6)$$

Скорость гравитационного процесса теоретически может быть оценена по скорости понижения положения центра тяжести взвеси $\frac{dy_t}{dt}$, а

его эффективность – по отношению величин убыли потенциальной энергии при данном и полном разделении смеси $\frac{\Delta E_t}{\Delta E}$.

1.2. Анализ процессов разделения золотосодержащих продуктов в концентраторах Knelson и Falcon SB

В последние годы центробежные концентраторы (ЦБК) установлены на многих обогатительных фабриках. В России и за рубежом хорошо зарекомендовали себя концентраторы канадской фирмы «Knelson Inc». В этой статье предпринята попытка сравнить процессы разделения золотосодержащих продуктов в концентраторах Knelson (рис.2) и концентраторах более молодой фирмы «Falcon Inc» (рис.3).

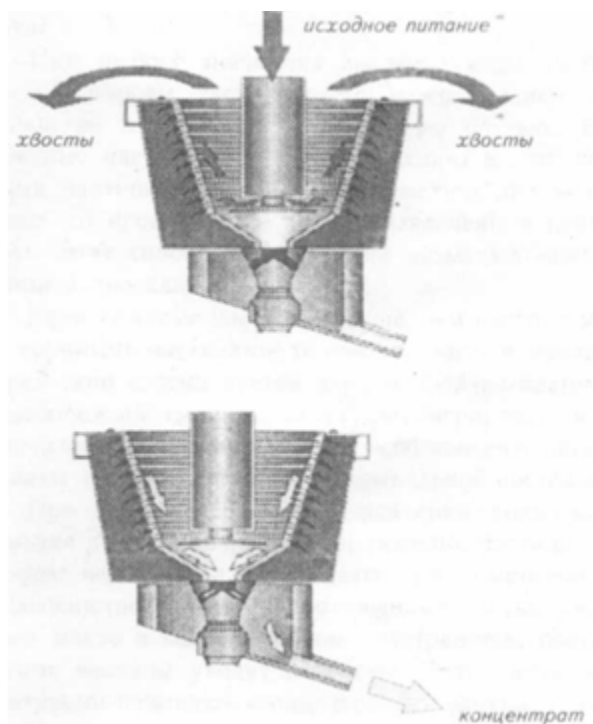


Рис. 2. Концентратор Knelson

Политехническим университетом Виржинии (США) и другими исследователями сформулированы основные технологические особенности и критерии сравнения конструктивных параметров ЦБК [1 – 4].

Площадь концентрации. При одинаковых диаметрах аппаратов площадь концентрации в Falcon значительно больше, чем в Knelson.

Центробежное поле. Концентраторы Falcon позволяют менять скорость вращения и, следовательно, ускорение, тогда как концентраторы Knelson имеют постоянную скорость вращения. Интенсивность центробежного поля в концентраторах Knelson находится в интервале 60-300 g, а в концентраторах Falcon может плавно меняться от 0 до 250g.

Ускорение пульпы. Для эффективного разделения необходимо не только вращение чаши, но и дополнительное ускорение пульпы. Это объясняется тем, что коэффициент трения слоев пульпы между собой и стенкой чаши весьма мал, поэтому пульпа вращается с меньшей скоростью, чем чаша, и, следовательно, испытывает меньшие центробежные силы, благодаря которым собственно и происходит разделение тяжелой и легкой фракций.

Концентраторы Falcon в отличие от Knelson имеют импеллер для разгона пульпы. Наличие импеллера способствует повышению эффективности разделения.

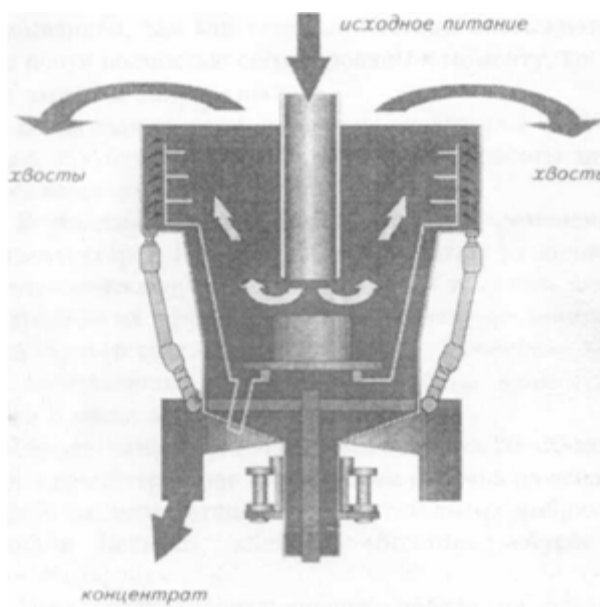


Рис. 3. Концентратор Falcon

Способ подачи воды. В концентраторах Knelson вода для оживления пульпы подается тангенциально стенке ротора, в концентраторах Falcon –

перпендикулярно стенке ротора. Глубина рифлей в Falcon позволяет иметь больший диаметр отверстий для подачи воды, чем в концентраторах Knelson. Все это приводит к тому, что забивание отверстий в концентраторах Falcon менее вероятно, чем в концентраторах Knelson.

В концентраторах Falcon вода подается только в верхнюю треть чаши. В нижней части происходит сегрегационное разделение смеси, что позволяет тонким частицам золота оказаться внизу минеральной постели и, следовательно, в межрифельном пространстве.

В табл. 1 приведены данные по расходу дополнительно подаваемой воды в концентраторах Knelson и Falcon в зависимости от ее давления [5]. Большой расход воды в Falcon, обусловленный более крупными отверстиями для подачи воды, затрудняет, использование этих аппаратов в циклах измельчения, где обводнение процесса противопоказано.

Таблица 1

Зависимость расхода дополнительной воды от давления

Давление, кПа	Расход воды л/мин	
	Knelson	Falcon
10	6,15	9,84
20	7.66	11,05
30	9.17	12,26
40	10,68	13,47
50	12,18	14,68
60	13,69	15,89
70	15.20	17.10
80	16,71	18,31
90	18,21	19,52
100	19,75	20,73

Циркуляция пульпы в зоне ожижения. Зоной ожижения называется область подачи дополнительной воды в чаше (где находятся нарифления).

Циркуляции пульпы в зоне ожигения концентраторов Knelson и Falcon SB различны. Это обусловлено наличием в концентраторах Falcon так называемой зоны сегрегации

В концентраторе Knelson мелким тяжелым частицам золота сложнее войти в межрифельное пространство из-за наличия потока дополнительно подаваемой воды.

В концентраторе Falcon мелкие тяжелые частицы при входе в зону ожигения уже находятся внизу минеральной постели. В соответствии с распределением скоростей нижний пристенный слой движется медленнее, чем верхний. Это позволяет частицам золота проскользнуть к поверхности чаши, тогда как легкие частицы пустой породы, находящиеся в верхнем слое, выбрасываются из концентратора и уходят в хвосты. Теоретически, правильно подобрав производительность, можно добиться полного сегрегационного разделения и полного извлечения золота.

Способы концентрации. В зависимости от давления дополнительно подаваемой воды легкие частицы могут застревать в межрифельном пространстве, разорвать рыхлую постель или же просто отбрасываться от рифлей. Скорость потока, при которой достигается каждое из этих состояний, зависит от размера и плотности частиц.

Исследованиями [5] показано, что в центробежных концентраторах с ожигающим потоком воды возможны четыре способа концентрации (в зависимое от давления воды в водяной рубашке, а также относительного размера частиц пустой породы и золота).

При низких значениях давления воды части! пустой породы застревают в межрифельном пространстве и образуют неподвижную постель. Ее тяжелые частицы меньше, чем зазоры между крупными частицами, то они могут достичь дна межрифельного пространства и быть извлечены в концентрат. Этот способ концентрации называют «концентрацией проскальзыванием».

Если тяжелые частицы больше, чем пустоты между крупными частицами, то они не смогут проникнуть через слой частиц пустой породы.

Однако благодаря центробежной силе они могут концентрироваться над минеральной постелью. Этот способ концентрации называют «концентрацией над минеральной постелью».

При средних значениях давления воды минеральная постель разрыхлена, и тяжелые частицы проникают через нее и накапливаются в межрифельном пространстве. Аккумуляция тяжелых частиц уменьшает место в межрифельном пространстве, поэтому легкие частицы уходят в хвосты. Этот способ концентрации называют «концентрацией замещением».

При высоких значениях давления воды легкие частицы вообще отбрасываются от нарифлений и уходят в хвосты. Этот способ концентрации называют «концентрацией отбрасыванием».

При концентрации проскальзыванием извлечение золота прекращается, когда все пустоты неподвижной минеральной постели заняты. Дополнительная подача питания приведет к попаданию содержащегося в нем золота в хвосты

При концентрации над минеральной постелью извлечение зависит от гидродинамической силы влечения тяжелых частиц, сконцентрировавшихся над минеральной постелью, потоком пульпы.

При концентрации замещением или отбрасыванием извлечение золота зависит от относительного размера тяжелых и легких частиц. Например, давление воды, необходимое для разрыхления или отбрасывания крупных минеральных частиц пустой породы, может быть выше, чем давление, которое окажет такой же эффект на мелкие частицы золота.

Следует отметить, что для руды с широким диапазоном крупности частиц золота и пустой породы все способы концентрации реализуются одновременно.

В последние годы появились некоторые публикации зарубежных авторов с анализом работы центробежных концентраторов.

Возможность применения концентраторов Knelson для переработки различных золотосодержащих руд и продуктов и показана весьма высокая их эффективность – извлечение золота в ряде случаев составляет около 99 %.

Проведено также исследование по сравнению работы концентраторов Knelson и Falcon.

Эффективность работы промышленных 20 – 30 – дюймовых концентраторов Knelson была оценена на основе данных их эксплуатации на обогатительных фабриках «Люсьен Беливю», «Хемло», «Местон», «Аурбел», «Ист Малартик».

Извлечение гравитационного золота на разных фабриках, перерабатывающих различное минеральное сырье, варьирует в широких пределах – 20-92 %. Приведенные результаты неоднозначны и требуют комментариев.

Показатели работы концентраторов Knelson варьируют в гораздо более широких пределах, чем предполагалось ранее. Отмечается, что извлечение мелкого золота значительно снижается с ростом производительности. Поскольку высокие результаты работы концентраторов Knelson выражаются главным образом в эффективном извлечении тонкого золота после цикла измельчения, то рекомендации по их использованию должны быть тщательно проверены. Извлечение золота, полученное в лабораторных концентраторах Knelson, должно быть подтверждено в промышленных условиях на аналогичном сырье.

На большинстве объектов промышленный концентратор Knelson ни разу не достиг извлечения, полученного в лабораторном 3-дюймовом концентраторе. Наилучшие результаты получены при работе промышленного концентратора с производительностью лишь 30 % от номинальной.

В работе д-р Андре Лапланте показал, что концентраторы Falcon значительно лучше концентраторов Knelson извлекают мелкое (мельче 37 мкм) золото. При этом высказано предположение, что основным фактором, определяющим показатели обогащения, является соотношение давления дополнительно подаваемой воды и ускорения.

В университетах Льежа (Бельгия) и Атакамы (Чили) проведено совместное исследование по сравнению концентраторов Knelson и Falcon на

искусственных смесях частиц разной крупности и формы. Вместо золота использован вольфрам, имеющий практически такую же плотность ($19,1 \text{ г/см}^3$ у вольфрама и $19,3 \text{ г/см}^3$ у золота).

Изучены зависимости извлечения вольфрама от давления воды для частиц кварца и вольфрама разной крупности (рис. 4). В концентраторе Falcon получены извлечения, близкие к 100 %, во всем диапазоне давлений, в то время как извлечения в концентраторе Knelson резко падают при высоких давлениях воды. Это особенно заметно для частиц вольфрама крупностью - 38 мкм. Разрыхление пустой породы происходит уже при давлении 5 – 15 кПа в зависимости от размера частиц. Использование более высокого давления позволяет получать более чистые концентраты.

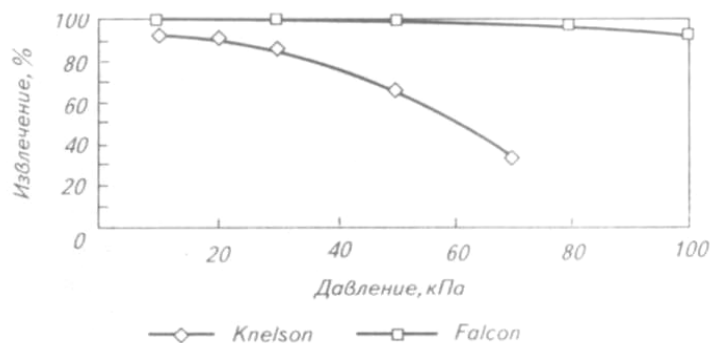


Рис. 4. Извлечение вольфрама крупностью 0 – 38 мкм из смеси с кварцем крупностью 74 – 104 мкм

Показано также [5], что размер частиц пустой породы не оказывает существенного влияния на извлечение вольфрама. Это можно объяснить тем, что легкие частицы разрыхляют минеральную постель даже при низких значениях давления воды.

Изучение зависимости извлечения галенита из смеси с кварцем (1:10 соответственно) от давления воды показало, что при тех же параметрах давления извлечение в обоих концентраторах несколько ниже, чем извлечение вольфрамита в предыдущих опытах [5]. Так, при давлении 50 кПа извлечение в Falcon на 30-50 % ниже, чем в Knelson.

Отечественная практика применения рассматриваемых центробежных концентраторов на различном минеральном сырье в большинстве случаев

подтверждает их высокую эффективность. В настоящее время на предприятиях РФ работают около сотни гравитационных установок с аппаратами Knelson. Значительно меньшее распространение получили аппараты Falcon. Концентраторы Falcon только начинают применять при обогащении различного минерального сырья россыпных и коренных месторождений.

Выполнить глубокий сравнительный анализ работы этих аппаратов на основании результатов, получаемых на отечественных и зарубежных предприятиях, из-за отсутствия информации не представляется возможным. Зарубежная информация в большинстве случаев носит рекламный характер. Поэтому технологическая оценка этих аппаратов чаще производится на основе сопоставления результатов их работы с показателями известных гравитационных аппаратов (отсадочных машин, винтовых сепараторов, концентрационных столов, отечественных ЦБК и др.).

Многие авторы отмечают, что при извлечении золота крупнее 0,2 мм аппарат Knelson и отсадочная машина работают одинаково эффективно, а золото мельче 0,2 мм в аппарате Knelson извлекается значительно полнее. На песках мелких классов крупности отечественные концентрационные столы работают не менее эффективно, чем Knelson. Замечено также, что аппараты Knelson значительно лучше извлекают мелкие частицы золота крупностью - 0,1+0,044 мм.

Хорошие результаты [8] получены на техногенной россыпи Исовского полигона при извлечении мелких и тонких частиц платины и золота: концентрация драгоценных металлов увеличена в 2,5-5,0 раз по сравнению с концентрацией, обеспечиваемой существующей технологией.

Высокая концентрация золота и платины достигнута также при их извлечении в концентраторах Knelson-KC-MD-30 из хвостов обогащения титано-магнетитовых руд Качканара.

Промышленными испытаниями концентраторов Knelson-48 на вкрапленных рудах месторождения Норильск-1 показана возможность получения в цикле измельчения руды гравитационного концентрата с

высокой концентрацией металлов платиновой группы при извлечении от руды более 15 %, потери с хвостами флотации снижены на 8-10 % [9, 10].

Пирротиновые и пиритные концентраты, заскладированные в хранилищах многих обогатительных фабрик, перерабатывающих сульфидные руды цветных металлов, также могут быть переработаны с извлечением гравитационных концентратов благородных металлов.

Гравитационное извлечения золота организовано на Гайской ОФ. Крупность золота варьирует от нескольких микрометров до 1 мм. В концентраты гравитации улавливаются частицы золота крупнее 20 – 25 мкм. В крупных и средних классах всех продуктов измельчения и обогащения отмечаются золотины пластинчатой формы со следами механических воздействий, что свидетельствует о развальцовывании и расплющивании частиц золота на разных стадиях измельчения. Это создает трудности для извлечения золота и при флотации.

Наличие в продуктах гравитационного передела тонкого свободного золота и концентрация его по стадиям измельчения предопределили необходимость подробного изучения возможностей использования центробежных и других концентраторов на продуктах Гайской обогатительной фабрики [7]. С начала 2001 года на части потока работает установка, включающая грохот, короткоконусный гидроциклон и центробежный концентратор Knelson-CD30MS с автоматической разгрузкой концентрата. Концентратор Knelson-CD30MS был выбран, как один из достаточно производительных (60 т/ч) и надежных аппаратов, работающих с высокой эффективностью [11].

Установка гравитационных аппаратов на весь объем переработки руд позволит значительно повысить извлечение золота и выпуск драгоценных металлов.

Таблица 2

Сравнительная характеристика концентраторов Knelson CD30 и Falcon

Параметры	Falcon	Knelson
Производительность по твердому, т/ч	55	30
Прейскурантная цена, долл. США	100360	116730
в т. ч. концентратора	77350	88500
системы автоконтроля	23010	28230
Капитальные затраты на тонну	1672	3889
производительности, долл. США		
Продолжительность сполоска, с	< 40	> 240
Масса концентрата за цикл, кг	80	30
Площадь поверхности ротора, см ²	16800	8400
Объем ротора, см ³	295000	132000
Основание концентратора, см ^х см	188х188	195х208
Высота концентратора, см	265	193
Масса концентратора, кг	2910	1930
Мощность двигателя, кВт	30	12
Способ подачи воды	перпен.	тангенц.
Потребление воды, л/мин	680/940	570/760
л/т	680/940	1135/1515
Давление воды*, кг/см ²	0,35/0,7	0,7/1,4
Центробежное поле', g	50/200	60/60

в числителе — минимальное, в знаменателе — максимальное.

Приведенные результаты убедительно подтверждают, что увеличивающаяся в концентраторе в 60 раз сила тяжести каждой частицы размером от 0,2 до 0,04 мм и меньше позволяет ей внедриться в образующийся на кольцах работающего конуса уплотненный слой. В результате выход тяжелых фракций в гравитационном аппарате возрастает в несколько раз.

Проведенные исследования показали, что концентратор Falcon значительно эффективнее извлекает золото крупностью – 38 мкм и более.

Таким образом, гравитационное разделение в ЦБК Falcon и Knelson имеет ряд существенных отличий.

В табл. 2 приведена сравнительная характеристика концентраторов.

Проведенный анализ показывает достаточно высокую эффективность использования ЦБК. Однако они не всегда могут дать желаемые результаты. К их выбору и рекомендациям установки на промышленных объектах нужно подходить осторожно и только после глубокого анализа и лабораторной проверки. А если учесть, что стоимость зарубежных концентраторов почти в 30 раз превышает стоимость отечественных аналогов, то необходимость тщательных экономических расчетов становится очевидной. Результаты обогащения золотосодержащих песков, содержащих 5г/т Au, представлены в табл.3

Таблица 3

Результаты обогащения золотосодержащих песков, содержащих 5г/т Au

Тип концентратора	Содержание Au в концентрате г/т	Е, %	Степень сокращения
Бегущая ванна	1012,9	99,6	169
Knelson	978,1	99,5	169
HY-G	1107,8	99,7	185

1.3. Установка, эксплуатация и обслуживание центробежных концентраторов

Концентратор Нельсона будет точнее описать как высокоскоростную центрифугу, в которой центробежная сила направлена против запатентованного процесса размывания. Эта комбинация дала непревзойдённые результаты в извлечении свободных полезных тяжёлых минералов.

Концентрационный конус состоит из набора колец, увеличивающихся в диаметре от дна к вершине. По окружности каждого кольца расположены отверстия для впрыскивания воды в концентрационный конус. Точность размера, количество и расположение этих отверстий – результат обширного поиска и исследования свойств материала. Расположение конуса внутри ротора создаёт водяную рубашку.

Флюидизирующая вода поступает в полость водяной рубашки через приводной вал корпуса вращения. После заполнения рубашки, вода под давлением проникает через флюидизационные отверстия в концентрационные кольца. Направление впрыскивания тангенциальное и против часовой стрелки.

Во время работы ротор вращается по часовой стрелке (вид сверху) с заранее установленной скоростью в зависимости от размера и модели аппарата. Вращение создаёт центробежное ускорение до 60g в сравнении с 1g у применяемых обычных гравитационных концентрационных устройств (например, отсадочные машины, концентрационные столы, шлюзы)

Пульпа поступает в конус через стационарный питающий патрубок. Она стекает по питающему патрубку вниз на дно конуса, где центробежная сила отбрасывает её на стенку конуса. Достигнув стенки конуса твёрдые частицы заполняют каждое кольцо, начиная с днища. Как только наполнились все кольца, создается концентрирующая постель. Одновременно вода, впрыскиваемая из водяной рубашки, флюидизирует эту постель.

Скорость истечения флюидизирующей воды оптимизируются во время ввода концентратора в эксплуатацию. Переменные, влияющие на нее, включают распределение частиц по размеру, среднюю плотность пустой породы и процент твёрдого в питании. Оптимальное размывание достигается, когда внутреннее течение воды сквозь слой концентрата уравнивается с внешней силой твёрдого. Это позволяет мелкозернистым частицам полезных тяжёлых минералов «впитываться» в слой концентрата, просачиваясь в промежутках. Если истечение флюидизирующей воды поддерживается, то отбор и концентрация частиц с высокой гравитационной

характеристикой будет продолжен, а частицы с низкой гравитационной характеристикой будут удаляться.

По завершению концентрационного цикла концентрационный конус удаляется из корпуса вращения, а концентрат смывается с помощью прилагаемого очищающего переходника для последующего анализа

1.4. Использование центробежных концентраторов для обогащения полезных ископаемых

Концентратор Нельсона может быть составной частью любого типа системы рудо перерабатывающего процесса, где есть возможность извлечения «измельчающихся» или «самородных» частиц полезных тяжёлых минералов.

Это очевидно, когда:

- Пробы из россыпей содержат следовые количества свободных полезных тяжёлых минералов.
- Видимое золото обнаружено в кернах геологами.
- Работа по металлургическому анализу подтверждает присутствие свободных полезных тяжёлых минералов.
- Потери свободных полезных минералов обнаружены в хвостовых потоках обогатительной фабрики.
- Выборочный анализ обнаруживает «выбросы» в пробах конечных хвостов обогатительной фабрики.
- Большие «запасы» полезных тяжёлых минералов обнаружены в любом закрытом цикле измельчения.
- Свободные полезные тяжёлые минералы обнаружены в процессе смены футеровки на обогатительной фабрике, при очистке зумпфа и в других точках накопления.

При наличии вышеперечисленных условий концентратор Нельсона может быть использован для:

- Извлечения тяжёлых полезных минералов из россыпей.

- Первичное извлечение полезных тяжёлых минералов в цикле измельчения обогатительной фабрики
- Попутное извлечение полезных тяжёлых минералов из цикла измельчения неблагородных металлов.
- Извлечение золота из флотационных концентратов
- Извлечение полезных тяжёлых минералов в процессе переработки хвостов
- Доводка концентратов полезных тяжёлых минералов.
- Извлечение других минералов и металлов с высоким удельным весом, таких как платина, серебро, ртуть и медь.

Начиная с 1978 года, компания Knelson Concentrators выступала в роли пионера в исследованиях технологии центробежных сепараторов для извлечения благородных металлов из россыпного и рудного сырья.

Горноперерабатывающие предприятия, как стран СНГ, так и по всему миру, питают уважение к продукции Нельсон, как надёжной, свободной от хлопот и доставляющей своим пользователям значительные преимущества с точки зрения металлургии.



рис.5.Концентраты Нельсона с периодической разгрузкой

Концентраты Нельсона с периодической разгрузкой наиболее широко применяемые в промышленности центробежные гравитационные аппараты.

Все концентраты Нельсона с периодической разгрузкой, от лабораторной модели до машины с производительностью 165 тонн в час по твердому, объединяют в себе увеличенные центрифугой гравитационные

силы с запатентованным процессом ожижения постели для обеспечения неповторимой эффективности извлечения благородных металлов.

Тщательный дизайн и высококачественное производство гарантируют, что каждый концентратор Нельсона с периодической разгрузкой обеспечит многолетнюю, надежную и бесхлопотную работу даже в самых суровых условиях. Концентраторы Нельсона с периодической разгрузкой успешно применяются в задачах по извлечению золота, платины, серебра, ртути и самородной меди.



Рис.6.Бакавая аппаратура

Сегодня Knelson Concentrators предлагает Вам два типа проверенных и надежных концентраторов Нельсона для переработки минерального сырья: концентраторы с периодической разгрузкой (Batch Concentrators) и концентраторы с непрерывной варьируемой разгрузкой (CVD Concentrators).



Рис.7.Концентратор

Существует три типа Концентраторов Нельсона с периодической разгрузкой:

С автоматической разгрузкой, конструкция из нержавеющей стали (серия XD): Концентраторы Нельсона усиленной конструкции (КС-XD) это высший класс центробежных концентраторов с периодической разгрузкой, имеющихся в настоящее время в горной промышленности. Тип XD специально создан для работы в суровых условиях, типичных для цикла измельчения коренных пород. Компактный дизайн, крепкая конструкция и компоненты высочайшего качества заставляют выбирать КС-XD для наиболее взыскательных задач по извлечению драгоценных металлов.

С автоматической разгрузкой, конструкция из мягкой стали (серия CD):

До разработки типа XD, наиболее широко применимым в промышленности центробежным концентратором для извлечения был концентратор Нельсона с центральной разгрузкой (КС-CD). Теперь тип КС-CD выбирается для установок по переработке россыпного сырья, где условия менее суровые, по сравнению с фабриками по переработке коренных руд. Тип CD также является более экономичной альтернативой для проектов с ограниченным финансированием, не позволяющим приобрести концентратор Нельсона высшего класса КС-XD. Экономичность типа CD достигается только за счет конструкции из мягкой стали, то есть тип CD обеспечивает точно такую же высочайшую металлургическую эффективность, что и тип XD.

С ручной разгрузкой (серия MD):

Нельсон предлагает концентраторы небольшой производительности лабораторного и полупромышленного масштаба для гравитационных тестов, внутрифабричных испытаний, а также на местах проектов по освоению россыпей. Лабораторные и пилотные модели концентраторов Нельсона с периодической разгрузкой стали стандартным оснащением всех современных обогатительных лабораторий в мире. Концентраторы моделей КС-MD3, КС-MD4.5 и КС-MD7.5 с различной производительностью, выполнены с теми же

жесткими стандартами качества, что и промышленные концентраторы Нельсона.



Рис.8.Концентраторы Нельсона с непрерывной варьируемой разгрузкой (серия CD)

Запатентованные концентраторы Нельсона с непрерывной варьируемой разгрузкой были разработаны специально для извлечения минералов, извлекающихся гравитационными методами, на которых из-за относительно высокого содержания ценного компонента применять традиционный концентратор Нельсона с периодической разгрузкой нецелесообразно. Хотя этот концентратор (CVD) и подходит для селективного извлечения драгоценных металлов, изначально технология предназначалась для предварительного коллективного извлечения различных основных металлов и промышленных минералов.

Концентратор Нельсона с непрерывной варьируемой разгрузкой отличается от концентратора Нельсона с периодической разгрузкой постоянным выпуском концентрата. Концентратор с непрерывной разгрузкой продолжает разгружать концентрат при одновременной переработке свежего питания. Отличие концентратора Нельсона с периодической разгрузкой заключается в необходимости периодически прекращать работу для удаления концентрата. Концентратор с непрерывной разгрузкой подходит для таких

областей применения, где содержание целевого минерала превышает 0,5% от общего питания по твердому.

Все концентраторы с непрерывной разгрузкой оборудованы полностью автоматизированными системами контроля, так что аппарат может работать без сбоев при отсутствии оператора. Интерфейс оператора позволяет мгновенно в процессе работы аппарата регулировать такие параметры расход разрыхляющей воды, ускорен выход массы концентрата.



Рис.9. Флюидизация питания

Флюидизация питания создает эффективную среду разделения, а также обеспечивает плавность процесса и снижает абразивный износ. Концентратор с непрерывной разгрузкой эффективно обесшламливает большую часть питания и не склонен к проблеме закупоривания присущей другим типам центробежных концентраторов.

Концентратор с непрерывной разгрузкой может быть легко внедрен в уже существующий цикл на фабрике он обладает высокой удельной производительностью. Узел концентрации может быть выполнен в патентованной двойной конструкции, позволяющей одновременно выпускать два потока концентрата. Первичный и вторичный концентраты могут быть разделены, что дает возможность индивидуально перерабатывать их для лучшей технологической эффективности.



Рис.10.опции контроля и вспомогательное оборудование

Обе разновидности концентраторов Нельсона могут управляться как ручным, так и автоматическим способом.

Применение гравитационных методов при обогащении золотосодержащих руд традиционно ограничивается использованием отсадочных машин циклах измельчения и концентрационных столов на доводочных операциях. Дальнейшую переработку черновых концентратов с содержанием от 100 до 1000 г/т золота производят на металлургических заводах, либо амальгамацией на месте [2]. Стоимость доставки концентратов на заводы и их переработки составляет 25-33 % от стоимости добытого золота, а амальгамацию все более исключают из технологического процесса.

Разработке безамальгамационных технологий доводки концентратов в последнее время посвящен ряд работ [2-5]. Применение методов, связанных с обжигом и цианированием, сопровождается вредными выбросами и требует дополнительных затрат на снижение экологического ущерба [2]. Использование гравитационных методов (столов СКЛ) не исключает трудоемких операций ручной доводки. Извлечение свободного золота при различных вариантах подготовки руды приведены в табл.4

Извлечение свободного золота при различных вариантах подготовки
руды

Вариант подготовки	Извлечение, %
Материал крупностью – 6 мм при содержании фракции +3 мм менее 5 %	40 – 45
Тот же материал после удаления фракции +3 мм	55 – 60
Тот же материал после удаления фракции +3 мм и классификации подрешетного продукта на фракции +0,5 и -0,5 мм	90 – 95

По мнению авторов, наиболее перспективной может быть технология магнитного обогащения с использованием магнитной жидкости [4, 5].

Существенным барьером при внедрении этой технологии является необходимость предварительной доводки обогащаемых материалов до высоких (10-50 кг/т) содержаний золота, что связано со значительной стоимостью расходуемого материала магнитной жидкости.

Проблема предварительного обогащения может быть успешно решена за счет использования нового типа аппаратов, созданных в течение последних 10-15 лет – центробежных концентраторов [6-8].

На сегодняшний день наибольшее распространение получили аппараты с псевдооживленным слоем [8] – типа концентратора Knelson. В России аппараты с псевдооживленным слоем разработаны и изготавливаются научно-производственным объединением «Итомак». Основные их отличия от концентраторов Knelson заключаются в более высокой скорости вращения ротора (что позволяет обогащать более мелкий материал), в принципиально ином способе разгрузки тяжелой фракции (для промышленных аппаратов с производительностью 5-30 т/ч) и в наличии дополнительного перемешивания материала в зоне деления за счет наложения колебаний малой амплитуды.

Опыт эксплуатации центробежных аппаратов выявил необходимость предварительной классификации обогащаемого материала по крупности.

Обычно достаточно удалить из питания фракцию +3 мм, а оставшийся материал разделить на фракции крупностью -3+0,5 мм. В табл. 5 представлены результаты промышленной эксплуатации центробежных концентраторов при обогащении золотосодержащей руды. Сужением диапазона крупности обогащаемого материала можно добиться практически полного извлечения свободного золота. При уменьшении разницы в плотностях разделяемых минералов потребуется более узкая классификация.

Под термином «свободное» золото в данном случае понимаются частицы золота, находящиеся в свободном состоянии, и сростки золота с объемным содержанием его не менее 50 %.

Таблица 5

Результаты переработки промпродукта гола на концентраторе ЦКИ-0,1

Продукты	Выход, %	Содержание Au, г/т -	Извлечение Au, %-
Суммарный концентрат	0,41	10947,4	29,64
Хвосты за 1 – 30 мин	31,51	122,0	4,61
Хвосты за 31 – 60 мин	18,62	73,0	9,04
Хвосты за 61 – 90 мин	23,11	118,4	18,18
Хвосты за 91 – 120 мин	26,35	220,0	38,53
Итого: хвосты за 120 мин	99,59	106,3	70,36
Исходный продукт	100,00	150,46	100,00

Потери свободного золота при обогащении классифицированного материала приходится на тонкое золото, попавшее в крупную фракцию в связи с несовершенством процесса грохочения.

Причины снижения эффективности обогащения при переработке неклассифицированного материала связаны с заполнением зоны концентрации тяжелой фракции крупным материалом, что приводит к снижению ее эффективного объема и подавлению режима псевдоожижения.

В ходе испытаний в цикле доводки был установлен центробежный концентратор ЦКИ – 0,1 (рис.11 и 12) с номинальной производительностью 100 кг/ч. Тяжелую фракцию нарабатывали в течение 120 мин при постоянном расходе оживающей воды; питание и хвосты концентратора опробовали через 5 мин.

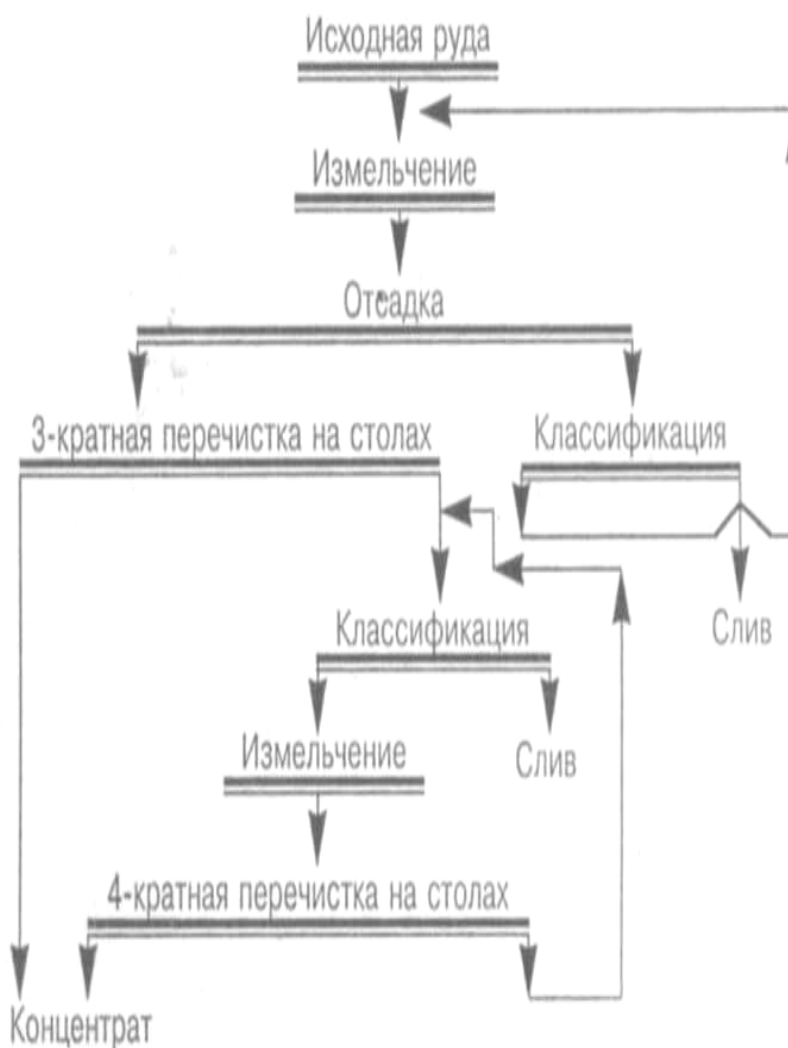


Рис. 11. Технологическая схема гравитационного обогащения руды

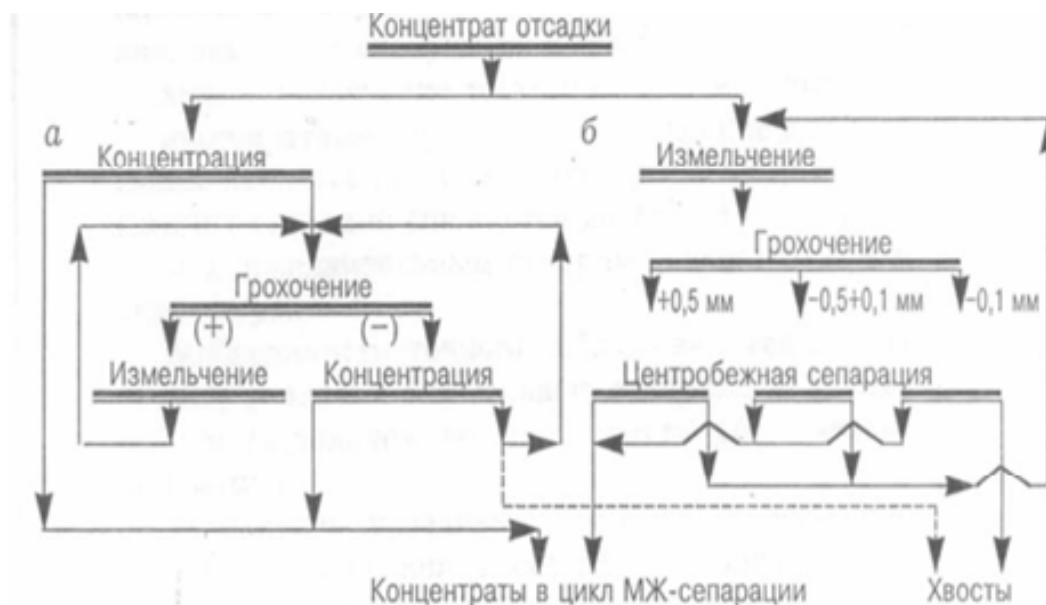


Рис. 12. Технологические схемы сравнительных испытаний

Таблица 6

Результаты сравнительных испытаний схем доводки

Варианты схемы доводки	Извлечение (%) на стадии		Общее извлечение, %	Содержание золота в конечном продукте, кг/т
	Гравитационного обогащения	Магнитожидкостной сепарации		
С использованием концентрационных столов (см. рис.3, а)	80	90	72	617
С использованием центробежного концентратора (см. рис.3,б)	79	90	71,1	743

Изменения конечных показателей обогащения течение всего периода работы концентратора представлены на рис. 11. В первые 30 мин концентратор работает эффективно с получением концентрата требуемого качества (10 – 50 кг/т) и высоком извлечении (более 85 %). В дальнейшем наблюдается снижение качества концентрата и извлечения, а после 90 мин работы начинается вымывание ранее извлеченного золота из концентрата и

замещение его крупными частицами породы. Содержание крупных фракций в концентрате при неклассифицированном питании концентратора в несколько раз больше, чем в исходном продукте.

Применяемая в настоящее время на фабрике схема гравитационного обогащения (рис.12) включает в себя отсадку измельченной руды, многостадийную концентрацию тяжелой фракции на столах с доизмельчением и перечисткой промпродуктов доводки в отдельном цикле. Получаемый концентрат с содержанием золота 500 – 1000 г/т подвергают амальгамации. Помимо того, что данная схема обогащения несовершенна с экологической точки зрения, она имеет следующие недостатки:

- низкое извлечение тонкого ($<0,15$ мм) золота; многократные перечистки, приводящие к обводнению процесса (плотность твердого в питании последних операций снижается до 2-3 % и в связи с этим к дополнительным потерям тонкого золота в этих операциях;
- необходимость точного соблюдения технологического режима и тщательного контроля за техническим состоянием большого числа обогатительных машин.

Устранение указанных недостатков возможно путем использования в качестве основного обогатительного оборудования центробежных концентраторов, позволяющих получать продукты высокого качества в одной операции и имеющих износостойкое покрытие рабочей зоны. В ходе проведения сравнительных испытаний технологических схем принципиально соответствующих промышленным условиям, достигнуты примерно одинаковые результаты обогащения (табл. 6). Концентрацию на столах проводили при стадийном измельчении материала до крупности -1,0; -0,5; -0,2; -0,1 мм. Хвосты концентрационного стола крупностью -0,1 мм являлись отвальными для цикла гравитационного обогащения. Окончательную доводку проводили с использованием магнитожидкостной сепарации.

Комплекс магнитожидкостной сепарации был испытан при доводке пробы, содержащей 18,6 – 22,4 кг/т золота и отобранной непосредственно на фабрике. Выделен продукт, содержащий 77 % химически чистого золота.

Извлечение от операции для различных классов крупности составило 97,8 – 98,4 %.

На основании полученных результатов принято решение о реконструкции отделения гравитационной доводки фабрики с заменой концентрационных столов на центробежные концентраторы, а вместо амальгамации предполагается использовать магнитожидкостную сепарацию (рис.13)

На других продуктах данной золотоизвлекательной фабрики ее работниками проведены независимые сравнительные испытания центробежных концентраторов фирм Knelson (Канада) и «Итомак». Эффективность работы аппаратов оценивали при переработке концентратной «головки» столов гравитационной доводки, питания цикла цианирования и текущих хвостов фабрики (табл. 7).

Таблица 7

Сравнительные испытания концентраторов Knelson и «Итомак»

Продукты	Концентратор Knelson			Концентратор «Итомак»		
	Выход, %	Содержан ие золота, г/т	Извлечен ие золота, %	Выход, %	Содержан ие золота, г/т	Извлечен ие золота, %
Концентратная «головка» столов						
Концентрат	3,6	9621	68,7	4,0	5858	70,4
Хвосты	96,4	164	31,3	96,0	103	29,6
Расходный продукт	100,0	504	100,0	100,0	333	100,0
Питание цикла цианирования						
Концентрат	0,8	54,0	24,0	0,2	339	37,3
Хвосты	99,2	1,45	76,0	99,8	1,20	62,7
Расходный продукт	100,0	1,89	100,0	100,0	1,91	100,0
Хвосты фабрики						
Концентрат	1,5	6,60	17,9	2,5	0,90	10,3
Хвосты	98,5	0,46	82,1	97,5	0,20	89,7
Расходный продукт	100,0	0,55	100,0	100,0	0,22	100,0

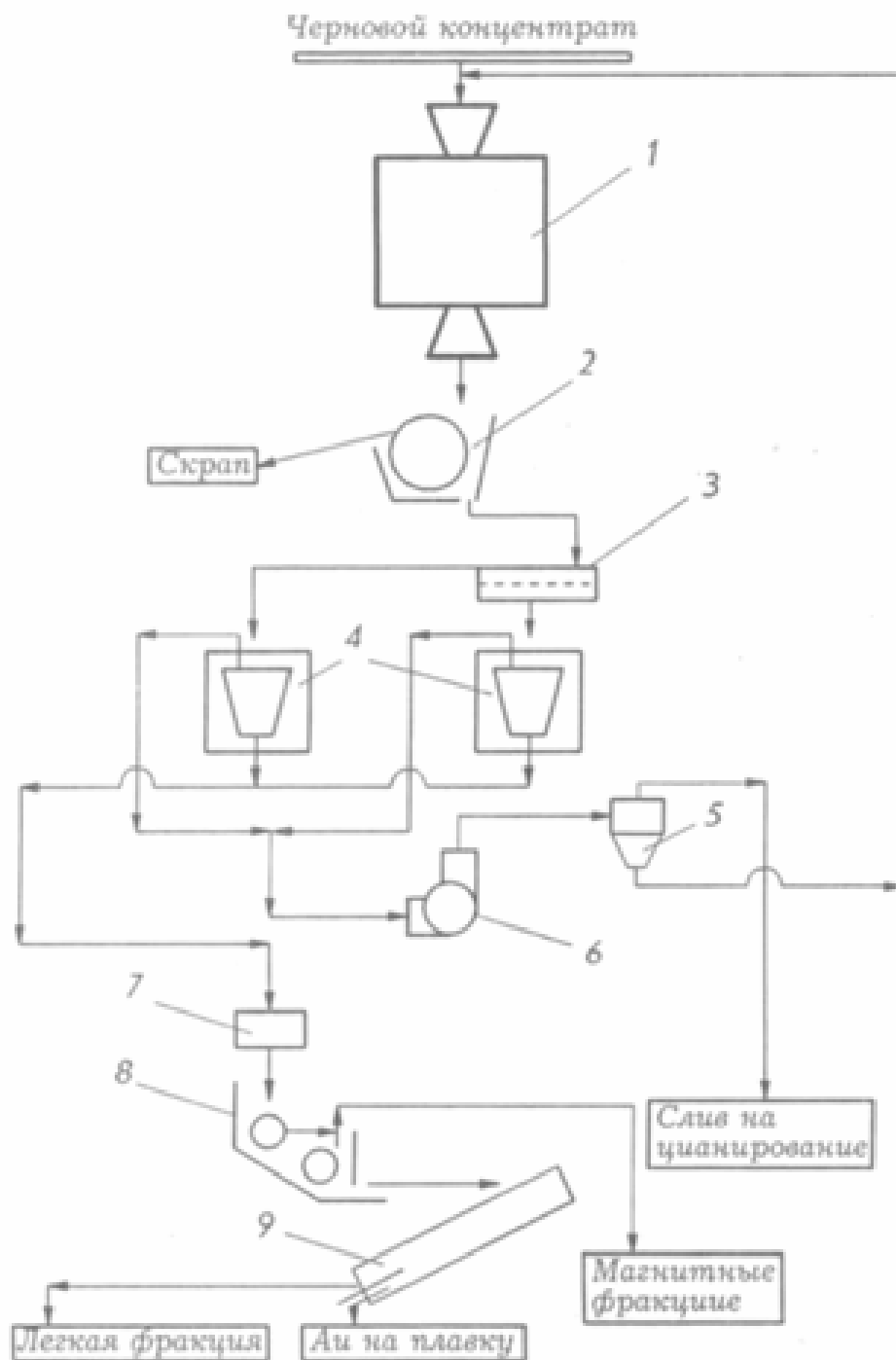


Рис 13. Схема цепи аппаратов отделения гравитационной доводки:
 1 – шаровая мельница; 2 – магнитный сепаратор; 3 – грохот; 4 – центробежный концентратор ЦКИ – 5; 5 – гидроциклон; 6 – насос; 7 – сушильная печь; 8 – магнитный сепаратор; 9 – МГ-сепаратор

Полученные результаты свидетельствуют о примерно равной эффективности работы этих аппаратов и о возможности применения центробежных концентраторов для переработки продуктов флотационной крупности. Незначительные отклонения показателей связаны с некоторой разницей в содержании свободного золота в исходных пробах.

Требования безопасности перед началом работ.

1. Прежде, чем приступить к работе, машинист мельниц должен осмотреть все механизмы мельниц.
2. Проверить наличие и исправность ограждений механизмов, эл. оборудования, площадок, лестниц, заземления.
3. Проверить уровень масла в редукторах и гидромуфтах.
4. Убедиться в наличии и исправности рабочего освещения.
5. Проверить звуковую и световую сигнализацию.
6. Проверить давление в шинах и при необходимости отрегулировать.
7. Подготовить необходимый инструмент и проверить его исправность.
8. Привести в порядок свою спец одежду, чтобы не стесняло движений и не могла попасть в движущие части.
9. О всех обнаруженных неисправностях машинист мельниц должен немедленно поставить в известность мастера или начальника участка и не приступать к работе до устранения неисправностей.

Требования безопасности во время работы.

1. Во время работы необходимо соблюдать производственную дисциплину, выполнять правила внутреннего трудового распорядка и требования настоящей инструкции. Машинист мельниц не должен допускать на свое рабочее место посторонних, лиц.
2. Все передачи от двигателя к рабочим органам мельниц, а также все открытые части механизмов должны быть ограждены. Снимать ограждения во время работы или работать при отсутствии ограждений запрещается.
3. Включение звуковой и световой сигнализации должно производиться с рабочего места оператора.
4. Включать мельницу и останавливать ее следует только после предупредительного сигнала, так как мельница связана с другими механизмами.

5. Во время работы мельницы запрещается убирать просыпавшийся материал под мельницей.

6. Во время работы мельницы запрещается регулировать его механизмы, а также устранять неисправности в работе узлов мельницы.

7. Запрещается работать при неисправном или отсутствующем заземлении.

8. Во время работы следует внимательно следить за сигналами, имеющими

отношение к работе или предупреждающими об опасности в работе мельницы.

Требования безопасности в аварийных ситуациях.

1. При замеченных неисправностях машинист мельницы обязан:

- прекратить работы;

- предупредить работающих об опасности;

- при несчастных случаях с людьми оказать им доврачебную помощь, немедленно поставить в известность мастера (начальника) участка, сохранить обстановку (по возможности) при которой произошел несчастный случай.

Требования безопасности по окончании работы.

По окончании смены машинист должен получить разрешения сменного мастера на остановку мельницы или передать управление сменщику. Для остановки мельницы необходимо:

- а). перекрыть поступление материалов на мельницу,

- б). выбрать материал с мельницы, в/, выключить электродвигатель мельницы,

- г). очистить рабочие органы мельницы от налипшего материала, подтеков масла.

д). очистить рабочую площадку и проходы к ней от просыпавшегося материала.

е). убрать используемый инструмент;

ж) сообщить мастер или начальнику участка о всех неисправностях в работе мельницы которые наблюдались за истекшую смену;

з) снять в гардеробе спецодежду и др. средства индивидуальной защиты, принять душ.

Требования безопасности при профилактическом обслуживании и ремонте мельниц

1. Смазку механизмов и оборудования следует производить только при выключен ном эл. двигателе мельницы.

2. При этом на пусковом устройстве необходимо вывести предупредительные плакаты "НЕ ВКЛЮЧАТЬ РАБОТАЮТ ЛЮДИ".

3. Смазку оборудования и механизмов следует производить аккуратно, а пролившееся масло немедленно удалить с оборудования, фундаментов и пола.

4. При эксплуатации оборудования машинист мельницы должен следить, чтобы все втулки, подшипники были смазаны, а в картерах редукторов и гидромуфтах был необходимый уровень масла.

5. При профилактическом осмотре и ремонте машинист совместно с эл. слесарем проверяет все узлы мельницы. Работу выполняет в установленном порядке, исключая возможность несчастных случаев, с разрешением лица, ответственно за ремонт или сменного мастера.

6. Производить ремонт оборудования или эл. сети разрешается лицам, которые прошли специальное обучение.

7. Работы, связанные с отключением от эл.сети подключением эл. оборудования к сети, должны выполнять только электрослесарем.

8. Перед началом работы необходимо:

а) отключить двигатель от питающей силовой линии и принять меры

препятствующие случайной подаче напряжения на него:

б) удалить плавкие вставки предохранителей в цепи эл.двигателей:

в) на пусковых устройствах вывесить запрещающий плакат **"НЕ ВКЛЮЧАТЬ РАБОТАЮТ ЛЮДИ"**.

9. ручной инструмент, применяемый при ремонте оборудования должен быть исправным. Гаечные ключи должны соответствовать размерам гаек, ударные, нажимные и режущие инструменты должны иметь надежно закрепленные рукоятки из сухой твердых и вязких пород.

10. Перед пробным пуском механизма после ремонта необходимо:

а). удалить посторонних людей на безопасное расстояние;

б). убрать посторонние предметы и инструмент с поверхности и изнутри мельницы

в) смазать и отрегулировать движущие части; г/ проверить исправность контрольно-измерительных приборов;

д) проверить наличие и прочность защитник ограждений.

О всех выполненных работах делается запись в специальных журналах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Criteria for comparison of enhanced gravity concentration equipment for mineral processing applications, 1999. <http://www.concentrators.net//tech.html>.
2. Criteria for comparison of enhanced gravity concentration equipment for mineral processing applications, 2001. <http://www.concentrators.net>.
3. Knelson Concentrators. 2001. <http://www.knelson.com>.
4. Laplante A. R. A comparative study of two centrifugal concentrators / / 24th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors. Ottawa, Canada, 1993.
5. Ancia Ph., Frenay J., Dandois Ph. Comparison of the Knelson and Falcon centrifugal concentrators, 1997.
6. Laplante A. R. An investigation of the Super-Bowl at Mineral Hill and Knelson at Casa Berardi Mines: Report on the first year of the NSERC-CRD Project 661-148-95, 1999.
7. Чантурия Е. А., Бочаров В. А. Изучение природы и технологических свойств золота в сульфидных медно-цинковых рудах Гайского месторождения / / Цв. металлы. 2001. № 6. С. 61-65.
8. Разработка технологии извлечения драгоценных металлов из минерального сырья гравитацией / К. А. Плеханов, Л. Д. Шевелева, М. Г. Видуэцкий и др. // Научные основы и прогрессивные технологии переработки трудно-обогатимых руд и техногенного сырья благородных металлов / РАН и АГН. Екатеринбург: Изд. АМБ, 2001. С. 126-
9. Михнев А. Д., Рюмин А. И. Применение концентратора Knelson для обогащения различных золотосодержащих материалов; Подборка статей «Проблемы золотодобычи в Росыш* // Горн. журн. 1998. № 5. С. 4-96.
10. Исследования по повышению извлечения золота гравитационными методами при переработке шахтных руд на Гайской обогатительной фабрике / Е. Н. Шуйская, А. В. Богданович, Ю. И. Старостин и др. Обогащение руд. 2000. № 3. С. 12

11. Попов В. В. Минерально-сырьевая база золота России: состояние и проблемы Горный журнал. – 1995. № 11.
12. Современные направления развития технологии переработки золотосодержащих руд Обзорная информация лабораторных и технологических исследований минерального сырья. – АО «Геоинформмарк», 1995. № 2.
13. Томин В. С, Маньков В. М. Безамальгамационная технология доводки золотосодержащих концентратов россыпной добычи Горный журнал. - 1995. - №
14. Смолкин Р. Д. и др. Разработка и испытание аппаратов для безамальгамационной технологии доводки золотосодержащих концентратов россыпей. Цветные металлы. - 1994. № 1.
15. Солоденко А. Б., Сыса А. Б., Хутуев Т. Ю. Универсальный магнитогравитационный комплекс для разделения минералов Изв. вузов. Цветная металлургия. 1995. № 3.
16. Knelson gold concentrators Eng. and Min. J. - 1993. 194. № 6.
17. Брагин П. А., Милентьев В. В. Разработка центробежно-вибрационных концентраторов для обогащения минерального сырья Колыма. 1992. № 10.
18. Compact concentrators for gold recovery Mining Mag. - 1991. - 165. № 3
19. Богданович А.В. Интенсификация процессов гравитационного обогащения в центробежных полях. Обогащение руд. 1999. № 1-2. С.33-35.