

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МИНЕРАЛОВ ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ АППАРАТАМИ

Ананенко К.Е.¹, Кондратьева А.А.¹, Зашихин А.В.²¹Сибирский федеральный университет, ananenko@inbox.ru²Институт химии и химической технологии СО РАН

Доводка черновых золотосодержащих концентратов является последней и одной из самых ответственных стадий извлечения россыпного золота. В голове доводочных схем используются традиционные обогатительные аппараты: отсадочные машины, концентрационные столы и центробежные аппараты. На завершающей стадии доводки могут использоваться магнитоожидкостные сепараторы в совокупности с подготовительной магнитной сепарацией, а также различные типы вибрационных механических лотков. Потери золота при доводке могут достигать значительных величин — 10% и более. В связи с этим повышение эффективности извлечения золота при доводке черновых золотосодержащих концентратов является актуальной и важной задачей обогащения полезных ископаемых. Наиболее сложным этапом при этом является оценка количества свободного золота, так как гравитационные методы являются основными при доводке. Современный подход к проектированию циклов обогащения основывается на использовании моделей обогатительных аппаратов, представляемых в общем виде сепарационными характеристиками $E(d, \rho)$, в качестве признака разделения которых используются плотность или крупность (применительно к циклам гравитационного обогащения). Для проектирования циклов извлечения золота принято использовать упрощенные сепарационные характеристики по золоту $E(d)$, которые удовлетворительно моделируют извлечение золота, но не учитывают поведения минеральных зерен меньшей плотности, в частности сростков золота со шлиховыми минералами. Для получения более адекватной модели без существенного ее усложнения предлагается использовать совокупность сепарационных характеристик: по золоту и по шлиховым минералам, при этом последняя моделирует в том числе поведение сростков золота. В этой статье приведены результаты исследования сепарационных характеристик для минералов, соответствующих по плотности шлиховым – ферросилиций и вольфрамит. Исследования проводились на следующих аппаратах: центробежные концентраторы Итомак КН-0,1 и Falcon L40 и центробежная отсадочная машина Kelsey J200. Результаты работы позволяют определить показатели извлечения для минералов соответствующего удельного веса при известном гранулометрическом составе ценного компонента.

Ключевые слова: сепарационные характеристики, золото, гравитационные аппараты, экспериментальные исследования

SEPARATION CHARACTERISTICS OF CENTRIFUGAL EQUIPMENT

Ananenko K.E.¹, Kondratyeva A.A.¹, Zashihin A.V.²¹Siberian Federal University, ananenko@inbox.ru²Institute of chemistry and chemical technology SO RAS

Operational development of rough gold concentrates is the latest and one of the most critical stages of extraction of alluvial gold. At the head of debugging schemes is used traditional enrichment devices: jigs, concentration tables and centrifugal machines. At the final stage of operational development may be used the magnetic fluid separators in conjunction with preparatory magnetic separation, and various types of mechanical vibratory trays. The loss of gold at operational development can be significant - 10% or more. In this regard, improving the efficiency of gold recovery at operational development of rough gold concentrates is an urgent and important task of mineral processing. The most complicated in this case is to estimate the amount of free gold, as the gravitation methods are fundamental in the operational development. The modern approach to the design cycles of enrichment is based on the use of models of enrichment devices to be submitted, in general terms, the separation characteristics $E(d, \rho)$, as a feature of separation that use density or size (in relation to the cycles of gravity concentration). For the design cycle of gold extraction is common to use simplified separation characteristics of gold $E(d)$, which satisfactorily simulate the recovery of gold, but do not take into account the behavior of the lower density of mineral grains, such splices with gold placer minerals. For a more adequate model without significant its complications is proposed to use a set of characteristics of separation: on gold and schlich minerals, the latter models including splice behavior of gold. This article presents the results of the study of the separation characteristics for the respective of minerals by density schlich - ferro-silicon and tungsten. The studies were conducted on the following devices: centrifugal concentrators ITOMAK KH-0, 1 and Falcon L40

and the centrifugal jig Kelsey J200. The results allow us to determine indicators of of extraction of minerals to the corresponding proportion for a known particle size distribution of a valuable component.

Keywords: separation characteristics, gold, gravity machines, experimental investigations

Извлечение золота из руд и россыпей можно разделить на два цикла – основной и доводочный. В основном цикле используется, как правило, высокопроизводительное оборудование, однако качество полученных концентратов невысокое – непригодно для переработки металлургическим способом [6]. Получение концентратов, пригодных для плавки, осуществляется в доводочном цикле, где используется менее производительное оборудование [1, 2, 5].

Доводка черновых золотосодержащих концентратов является последней и одной из самых ответственных стадий извлечения россыпного золота. В голове доводочных схем используются традиционные обогатительные аппараты: отсадочные машины, концентрационные столы и центробежные аппараты. На завершающей стадии доводки могут использоваться магнитожидкостные сепараторы в совокупности с подготовительной магнитной сепарацией, а также различные типы вибрационных механических лотков [3, 4]. Потери золота при доводке достигают значительных величин — 10% и более. Потери связаны с несовершенством используемых схем доводки, применяемого оборудования и режимов его работы. Повышение извлечения в цикле доводки возможно путем применения сочетания различных методов извлечения золота, использования развитых технологических схем доводки, оптимизированных для данного сырья.

Как показывает практика, модернизация первичного обогатительного оборудования и замена на новое и более эффективное приводит к увеличению извлечения мелких и тонких классов золота в черновой концентрат. Это приводит к снижению извлечения золота на стадии доводки концентратов. Для выбора наиболее подходящего оборудования необходимо обладать информацией о количественных показателях его работы. Таким показателем для гравитационного оборудования является сепарационная характеристика, т.е. зависимость извлечения от крупности зерен ценного компонента. По сепарационной характеристике можно установить границу разделения – крупность зерен ценного компонента, извлечение которых составляет 50%.

Обзор литературных данных, как отечественных, так и зарубежных, на предмет изученности сепарационных характеристик различных доводочных аппаратов показывает противоречивую информацию как о границах разделения, так и данных сепарационных характеристик в целом. В этой связи встает актуальная задача изучения сепарационных характеристик гравитационных обогатительных аппаратов.

Исследования сепарационных характеристик в данной работе проводились при использовании двух различных методик. Первая основана на использовании при изготовлении модельной смеси магнитного порошка, обычно ферросилиция, который выделяется из продуктов сепарации магнитным методом (извлечение ферросилиция из продуктов доводки проводилось на магнитном сепараторе ЭВС-10/5 производства МПК Механобр -Техника). В данной работе использовался ферросилиций марки ФС-45 измельченный, производства Новокузнецкого завода ферросплавов — ОАО «Кузнецкие ферросплавы». Вторая методика более универсальная, может использоваться с любыми тяжелыми минералами, базируется на рентгенофлуоресцентном определении содержания тяжелого минерала в продуктах обогащения с помощью спектрометра ARLQUANT'X.

Исследования сепарационных характеристик проведены для минералов, соответствующих по плотности шлиховым – ферросилиций и вольфрамит, плотность которых составляет 5 г/см^3 и $7,2 \text{ г/см}^3$ соответственно. В качестве минерала, соответствующего по плотности минералам пустой породы, использовался кварц. Исследования в данной работе проведены для следующих аппаратов: центробежных концентраторов Итомак КН-0,1 и FalconL40, а также для центробежной отсадочной машины KelseyJ200. Выход концентратов в экспериментах не превышал 5%. В результате получены сепарационные характеристики, представленные на рисунках 1–6.

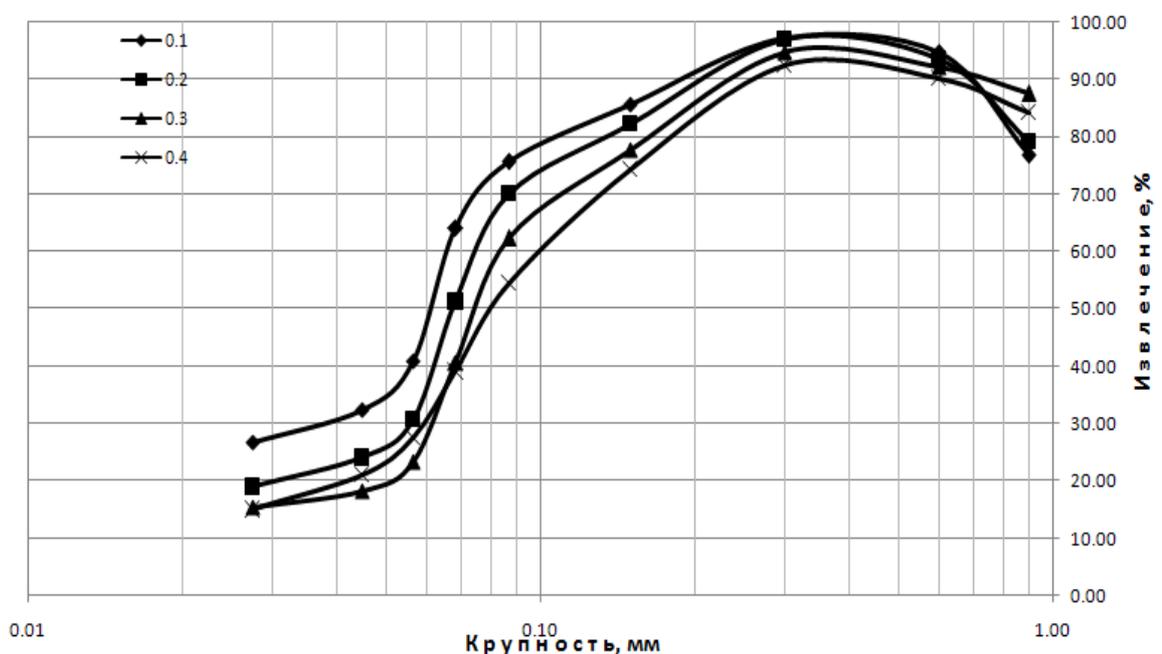


Рис. 1. Сепарационная характеристика по ферросилицию центробежного концентратора Итомак КН-0,1 при изменении давления разрыхляющей воды от 0,1 до 0,4 атм

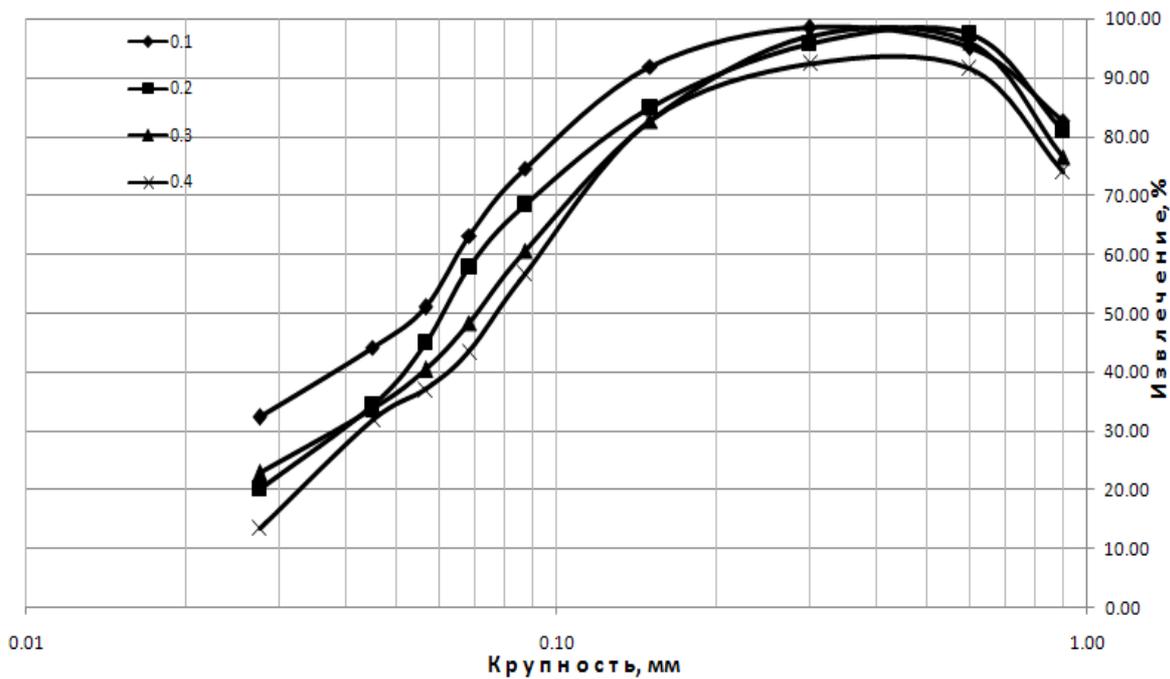


Рис. 2. Сепарационная характеристика по вольфраму центробежного концентратора Итомак КН-0,1 при изменении давления разрыхляющей воды от 0,1 до 0,4 атм

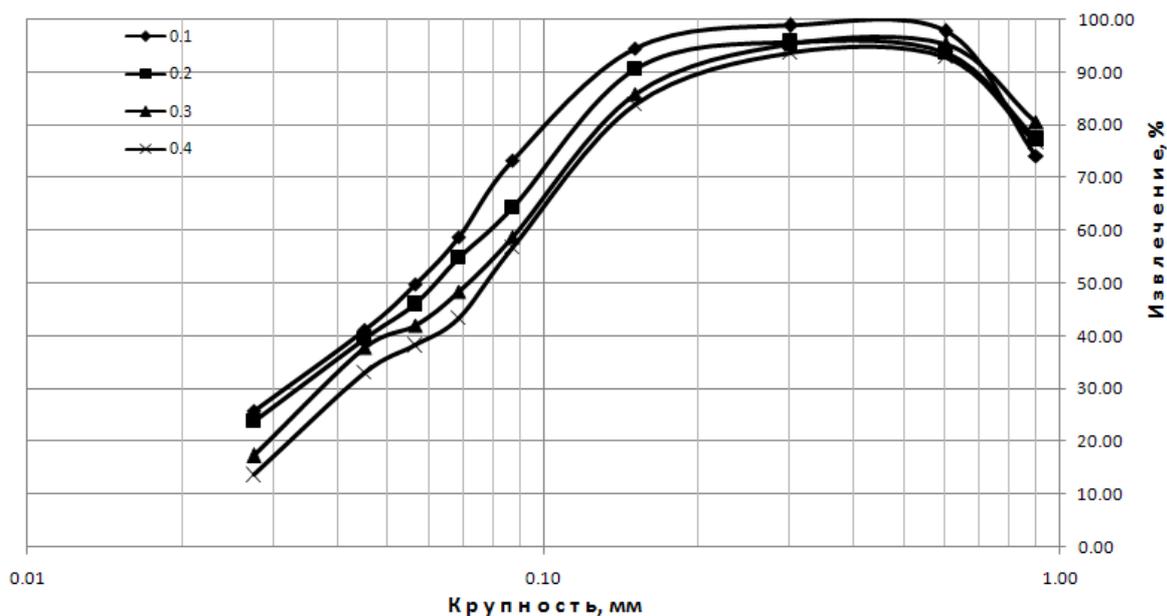


Рис. 3. Сепарационная характеристика по вольфраму центробежного концентратора Falcon L40 при изменении давления разрыхляющей воды от 0,1 до 0,4 атм



Рис. 4. Сепарационная характеристика по ферросилицию центробежного концентратора Falcon L40 при изменении давления разрыхляющей воды от 0,1 до 0,4 атм

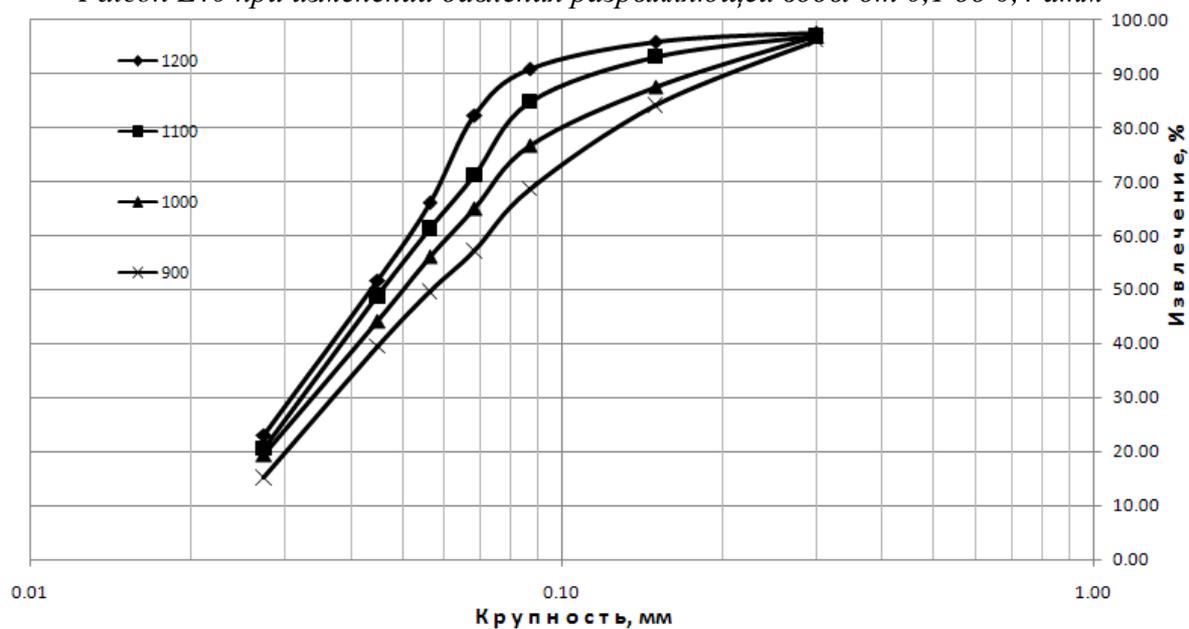


Рис. 5. Сепарационная характеристика по вольфрамиту центробежной отсадочной машины Kelsey J200 при изменении частоты вращения ротора с 900 мин⁻¹ до 1200 мин⁻¹.

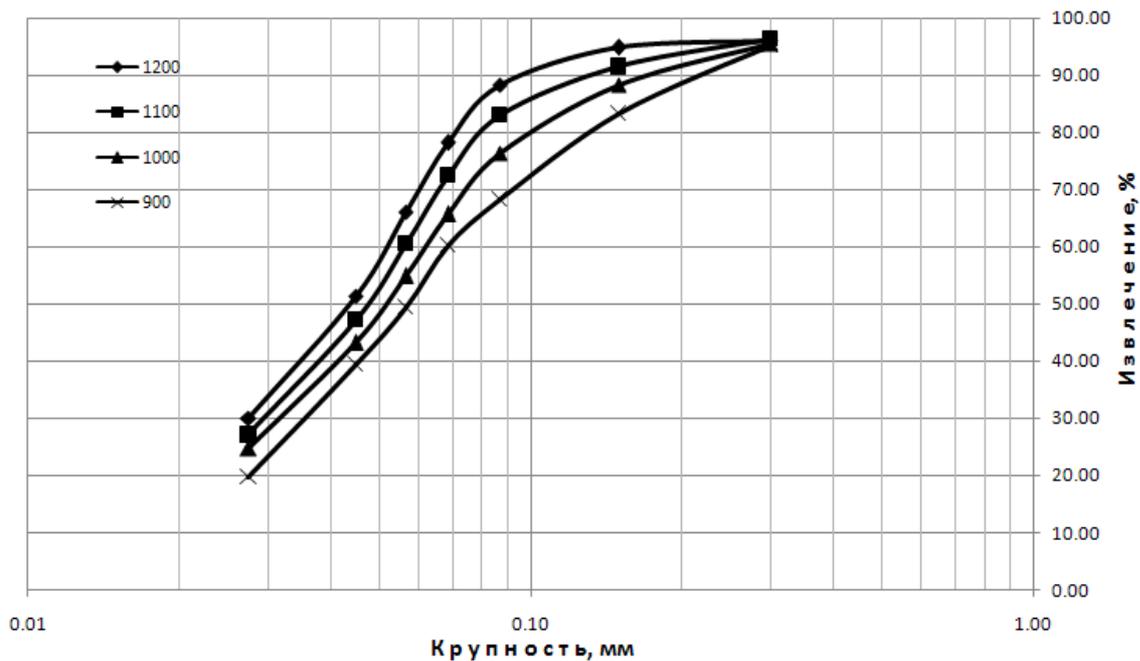


Рис. 6. Сепарационная характеристика по ферросилицию центробежной отсадочной машины Kelsey J200 при изменении частоты вращения ротора с 900 мин⁻¹ до 1200 мин⁻¹.

По результатам испытаний была проведена математическая обработка и составлены регулировочные модели, приведенные в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Границы разделения обогатительных аппаратов

Аппарат	Регулировочный параметр	Пределы изменения регулировочного параметра p	Граница разделения, мкм
			По шлиховым минералам
Итомак КН-0,1	Давление воды, атм	0,1–0,4	58–80
Falcon L40	Давление воды, атм	0,1–0,4	55–78
Kelsey J200	Частота вращения, мин ⁻¹	1200–800	43–50

Таблица 2

Математические модели обогатительных аппаратов

Аппарат	Модель аппарата и величина достоверности аппроксимации
	По шлиховым минералам
Итомак КН-0,1	$d_p = 0,071 p + 0,051$ $R^2 = 0,989$

Falcon L40	$d_p = 0,081$ $R^2 = 0,974$	$p +$	0,046
Kelsey J200	$d_p = -0,00002$ $R^2 = 0,938$	$p +$	0,062

Полученные границы разделения по различным аппаратам лежат в пределах 43–80 мкм по шлиховым минералам. Кроме того, было установлено, что в центробежных аппаратах, за исключением центробежной отсадочной машины Kelsey J200, для материала крупностью выше ~ 0,8 мм извлечение значительно снижается, однако при этом в целом центробежные аппараты мелкие и тонкие классы извлекают более эффективно, чем концентрационные столы и винтовые сепараторы.

Современный подход к проектированию циклов обогащения основывается на использовании моделей обогатительных аппаратов, представляемых в общем виде сепарационными характеристиками $E(d, \rho)$, в качестве признака разделения которых используются плотность или крупность (применительно к циклам гравитационного обогащения). Для проектирования циклов извлечения золота принято использовать упрощенные сепарационные характеристики по золоту $E(d)$, которые удовлетворительно моделируют извлечение золота, но не учитывают поведения минеральных зерен меньшей плотности, в частности сростков золота со шлиховыми минералами.

Для получения более адекватной модели без существенного ее усложнения можно использовать совокупность сепарационных характеристик: по золоту и по шлиховым минералам, при этом последняя моделирует в том числе поведение сростков золота. Условия сепарации учитываются введением в модель регулировочных параметров работы обогатительного аппарата (p). Изменение регулировочного параметра приводит к смещению границы разделения d_p , однако вид сепарационной характеристики при этом не изменяется, происходит параллельный перенос всей кривой сепарационной характеристики относительно границы разделения.

Полученные данные позволяют определить показатель извлечения для минералов соответствующего удельного веса при известном гранулометрическом составе ценного компонента. Кроме того, извлечение можно прогнозировать при изменении регулировочных параметров оборудования.

Список литературы

1. Авдохин В.М. Основы обогащения полезных ископаемых. – Изд. 3-е, стер. – М.: Горная книга, 2014. – Т. 2. Технологии обогащения полезных ископаемых. — 310 с.

2. Барченков В.В. Основные технологические процессы переработки золотосодержащих руд. – СПб.: ИЦ Интермедия, 2013. — 476 с.
3. Бочаров В.А., Игнаткина В.А. Технология обогащения полезных ископаемых: Т. 1: Минерально-сырьевая база полезных ископаемых. Обогащение руд цветных металлов, руд и россыпей редких металлов. – М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2007. — 472 с.
4. Мамаев Ю.А., Литвинцев В.С., Пономарчук Г.П. Техногенные россыпи благородных металлов Дальневосточного региона России и их рациональное освоение. – М.: Горная книга, 2010. 309 с.
5. Морозов Ю.П. Проектирование обогатительных фабрик. Часть 1. Состав проекта и порядок проектирования / Ю.П. Морозов; Урал. Гос. Горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. — 304 с.
6. Тихонов О.Н. Теория разделения минералов: СПб.: С.-Петербург. горный ин-т, 2008 . – 514 с.

Рецензенты:

Ростовцев В.И, д.т.н., в.н.с. ИГД СО РАН, г. Новосибирск;
Юсупов Т.С., д.т.н., в.н.с. ИГД СО РАН, г. Новосибирск.