



Оригинальная статья / Original article

УДК 622.772

Испытания в промышленных условиях центробежной отсадочной машины для гравитационного обогащения руд цветных и благородных металлов

© М.С. Лучко^а, П.К. Федотов^б

^аИркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов, г. Иркутск, Россия

^бИркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: Целью работы являлось изучение центробежно-отсадочного способа обогащения золотосодержащих руд как принципиально нового способа гравитационного обогащения, определение основных факторов, влияющих на процесс обогащения в центробежном поле методом отсадки, выявление способов улучшения основных показателей обогащения методов отсадки в центробежном поле. По заранее разработанной методике были проведены натурные испытания центробежно-отсадочной машины, работающей по принципу отсадки в центробежном поле, в промышленных условиях на золотоизвлекательных фабриках при осуществлении доизвлечения золота из хвостовых продуктов обогащения золотоизвлекательной фабрики № 1 (крупность P80 0,074 мм) и доизвлечения золота из сливов второй стадии гидроциклонирования золотоизвлекательной фабрики № 2. В результате выявлена возможность доизвлечения золота способом отсадки в центробежном поле из отвальных хвостов цианирования и сливов двойного гидроциклонирования. Установлено, что основными факторами, влияющими на процесс разделения методом отсадки в центробежном поле, являются частота вращения отсадочной камеры, частота и амплитуда пульсации подвижного конуса и давление подрешетной воды. Оформлен патент на изобретение центробежно-отсадочного концентратора. Полученные результаты позволяют полагать, что способ отсадки в центробежном поле в ряде случаев может быть предпочтительным при гравитационном обогащении на стадиях предварительного и контрольного обогащения. Высокий выход концентрата не позволяет применять настоящий способ на действующих предприятиях в основных переделах обогащения, в связи с чем необходимо добиться снижения выхода концентрата до 5–10 %.

Ключевые слова: центробежная отсадочная машина, гравитационное обогащение, обогащение в центробежном поле, обогащение методом отсадки

Информация о статье: Дата поступления 2 июля 2019 г.; дата принятия к печати 23 августа 2019 г.; дата онлайн-размещения 30 сентября 2019 г.

Для цитирования: Лучко М.С., Федотов П.К. Испытания в промышленных условиях центробежной отсадочной машины для гравитационного обогащения руд цветных и благородных металлов. *Науки о Земле и недروпользование*. 2019. Т. 42. № 3. С. 349–357.

Industrial test of the centrifugal jigger for gravity concentration of non-ferrous and precious metal ore

© Maksim S. Luchko^a, Pavel K. Fedotov^b

^aIrkutsk Research Institute of Precious and Rare Metals and Diamonds, Irkutsk, Russia

^bIrkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: The objective of the work has been to study the centrifugal-jigging method of gold ore concentration as a breakthrough method that reduces the valuable mineral losses in gravity concentration and increases the concentrate grade. Within the framework of the study, the main factors influencing the centrifugal-jigging concentration process, as well as the ways of improving the key parameters of the process, have been investigated. The full-scale testing of the centrifugal jigger has been carried out by the previously developed procedure, in the operation conditions of the gold-processing plants 1 and 2, with additional gold recovery from the plant 1 tailings (P80 0.074 mm) and from the two-stage hydro-cyclone system overflow of the plant 2. The study has shown that gold can be additionally recovered from the cyanidation tailings and two-stage hydro-cyclone systems by jigging in a centrifugal field. The main factors influencing the centrifugal-jigging separation are the jigging chamber rotational speed, the pulsation frequency and amplitude of the movable cone, and the underscreen-water pressure. The centrifugal jigging concentrator has been patented. The results of the study suggest that in certain cases, jigging in a centrifugal field



is a preferential gravity concentration method at the pre-concentration and control stages. For the method to be used at the main stages of the operating plants, the concentrate yield should be reduced to 5–10 %.

Keywords: centrifugal jigging machine, gravity concentration, concentration in a centrifugal field, jigging concentration

Information about the article: Received July 2, 2019; accepted for publication August 23, 2019; available online September 30, 2019.

For citation: Luchko M.S., Fedotov P.K. Industrial test of the centrifugal jigger for gravity concentration of non-ferrous and precious metal ore. *Earth Sciences and Subsoil Use*. 2019;42(3):349–357. (In Russ.)

Введение

В Иркутском научно-исследовательском институте благородных и редких металлов и алмазов (Иргиредмет) создан экспериментальный образец центробежной отсадочной машины (ЦОМ) производительностью от 5 до 15 т/ч, а также проведены заводские, стендовые и опытно-промышленные испытания на золотоизвлекательной фабрике № 1 (ЗИФ № 1) и золотоизвлекательной фабрике № 2 (ЗИФ № 2) (по условиям договоров о конфиденциальности информации название золотоизвлекательных фабрик и место их нахождения не разглашаются). Принцип действия данной ЦОМ основан на одновременном использовании двух факторов: воздействия на сепарируемую минеральную смесь восходящих и нисходящих пульсаций, реализуемых в серийно изготавливаемых отсадочных машинах, и наложения центробежных сил, на основе которых действуют центробежные обогатительные аппараты. Сочетание двух указанных факторов является наиболее современным направлением в разработке конструкций отсадочных машин.

Наибольшую популярность и распространение среди машин этого класса получила созданная в Австралии ЦОМ Kelsey [1], которая испытана и эксплуатируется на ряде предприятий, перерабатывающих золото, железосодержащие руды и руды редких металлов (ильменит, рутил, циркон, танталит, вольфрамит и другие). По данным испытаний эта отсадочная машина эффективно может извлекать железосодержащие минералы крупностью до 5 мкм, при этом извлечение тяжелых минералов крупностью менее 53 мкм достигает 90 %.

По заключению специалистов ЦОМ могут найти широкое применение при переработке золотосодержащих руд и россыпей, обеспечивая непрерывный и регулируемый выход концентрата при высоком извлечении в него золотосодержащих сульфидов, свободного мелкого, тонкого золота и платиноидов, а также других ценных шлиховых минералов (ильменита, магнетита, циркона, рутила и др.).

Принцип действия ЦОМ заключается в принудительном разделении минеральных зерен по удельным весам методом отсадки, основанном на принципе разности в скоростях стесненного падения частиц, при одновременном воздействии на них поступательного потока пульпы, вращательного движения камеры, с помощью которого к частицам прикладывается центробежная сила, в десятки раз превышающая силу тяжести и пульсирующее движение водяного потока [2].

Принцип работы ЦОМ имеет следующий порядок. Продукт поступает в пустотелый вал чаши. Технологическая подрешетная вода поступает в корпус машины через кольцевой коллектор, расположенный в зоне гидроуплотнения, что позволяет кроме основной задачи поддержания уровня давления воды в корпусе машины также отсекаать абразивный материал, не давая ему попадать на кольца гидроуплотнения и изнашивать их. Давление подрешетной воды должно превышать давление в корпусе машины на 0,1 атм.

Вращение чаши машины передается от пустотелого вала, который приводится во движение электродвигателем через ременной редуктор, установленный в



нижней части машины. Чаша состоит из жесткого каркаса и сетчатого корпуса. Размер ячейки сеющей поверхности чаши зависит от крупности обогащаемого материала и может варьироваться от 0,5 до 2 мм [3].

Предварительно в корпус машины может быть загружена искусственная постель (металлическая дробь), которая во время работы машины под действием центробежных сил равномерно распределяется по площади чаши.

Пульсация постели чаши, так же, как и в классических диафрагмовых машинах, передается через подвижный конус, расположенный в нижней части машины. Согласно закону гидравлики (закон Паскаля) [4], давление в замкнутом сосуде, вызванное действием внешней силы, равномерно распределяется во всех направлениях и одинаково в любой точке, поэтому силы, передаваемые подвижным конусом, воздействуют на всю сеющую поверхность вращающейся чаши.

Рабочий процесс начинается с подачи материалов в отсадочную камеру. Материал подается в загрузочную воронку и через пустотелый вал поступает на дно отсадочной камеры, где под действием центробежных сил частицы материала отбрасываются к периферии [5] и движутся по искусственной или естественной постели вверх, к сливному порогу отсадочной камеры. Одновременно частицы материала испытывают действие сил гравитационного разделения отсадкой. Тяжелые частицы проникают через пульсирующую постель [6], пульсация которой создается возвратно-поступательными движениями подвижного конуса, и через проницаемую поверхность отсадочной камеры попадают в неподвижный корпус, где, опускаясь, разгружаются через разгрузочное устройство конуса. Легкая фракция движется вверх и через сливной порог разгружается в хвостовой желоб корпуса [7]. Общий вид ЦОМ представлен на рис. 1, а ее технические характеристики приведены в таблице.

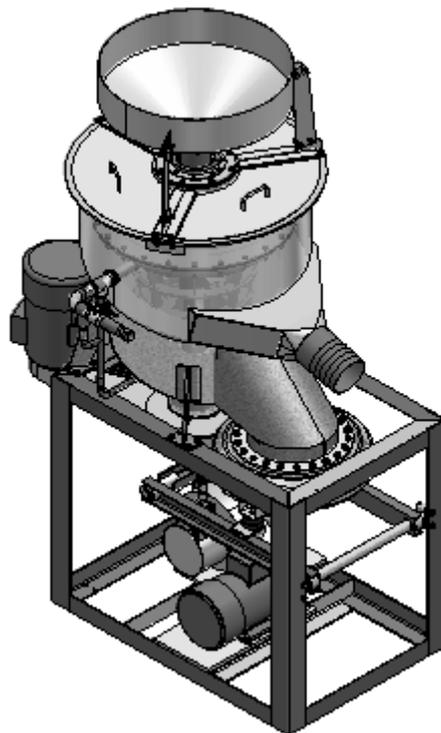


Рис. 1. Общий вид центробежной отсадочной машины

Fig. 1. General view of the centrifugal jigging machine



Технические характеристики центробежной отсадочной машины Centrifugal jigging machine specification

Наименование параметра	Значение параметра
Число отсадочных отделений, шт.	1
Рабочая площадь решета, м ²	0,97
Производительность по исходному питанию, т/ч	до 15
Крупность питания, мм	не более 10
Частота вращения отсадочной камеры, мин ⁻¹	47–400
Частота качаний подвижного конуса, мин ⁻¹	180–360
Длина хода подвижного конуса, мм	0–40
Мощность электродвигателя привода отсадочной камеры, кВт	15
Мощность электродвигателя привода подвижного конуса, кВт	7,5
Габаритные размеры, мм:	
длина	2250
ширина	1220
высота	2275
Масса машины, кг	1600

Методы исследований

Для получения натуральных данных и составления технологических характеристик, а также выявления конструктивных недостатков был проведен ряд испытаний ЦОМ:

- заводские испытания;
- испытаний в заводских и промышленных условиях ЗИФ № 1;
- испытания в заводских и промышленных условиях на ЗИФ № 2.

Для проведения каждого из испытаний разрабатывались и утверждались методики проведения испытаний.

Результаты исследований

Были проведены заводские испытания, предусматривающие проверку прочностных характеристик машины [8], а также произведено определение в первом приближении технологических параметров. Для этого технологический цикл работы машины был замкнут [9] (рис. 2), а именно продукты обогащения, концентрат и хвосты, выделенные из исходного питания после сепарирования, объединялись и заводились в «голову» процесса как «исходное питание».

Испытания в заводских и промышленных условиях на ЗИФ № 1. Исходным питанием служил весьма труднообогатимый материала с крайне неблагоприятным вещественным составом – отваль-ные хвостов цианирования ЗИФ № 1.

Наибольшее извлечение золота в концентрат ЦОМ получено на уровне 34,5 % при выходе концентрата 26 % и степени концентрации золота 1,3.

Испытания в заводских и промышленных условиях на ЗИФ № 2. Во время проведения испытаний ЦОМ на ЗИФ № 2 питанием являлись отваль-ные хвосты технологической схемы ЗИФ крупностью 79–83 % фракции -0,074 мм. Данные хвосты представлены сливом гидроциклонов, полученным после двойной классификации в них слива спиральных классификаторов, в которые поступали хвосты гравитации ЗИФ № 2. Содержание золота в хвостах ЗИФ № 2 (питании ЦОМ) составляло 0,27–0,83г/т; золото в хвостах практически полностью связано с сульфидами, которые представлены большей частью пиритом. Плотность исходного питания ЦОМ (содержание твердого) во время проведения испытаний составила в среднем 12 %.

ЦОМ была установлена в цехе пресс-фильтров фабрики.

Основными показателями оценки эффективности работы центробежного аппарата являлись содержание золота в продуктах обогащения, выход концентрата ЦОМ и извлечение в него золота, которые определялись по результатам опробований [10].

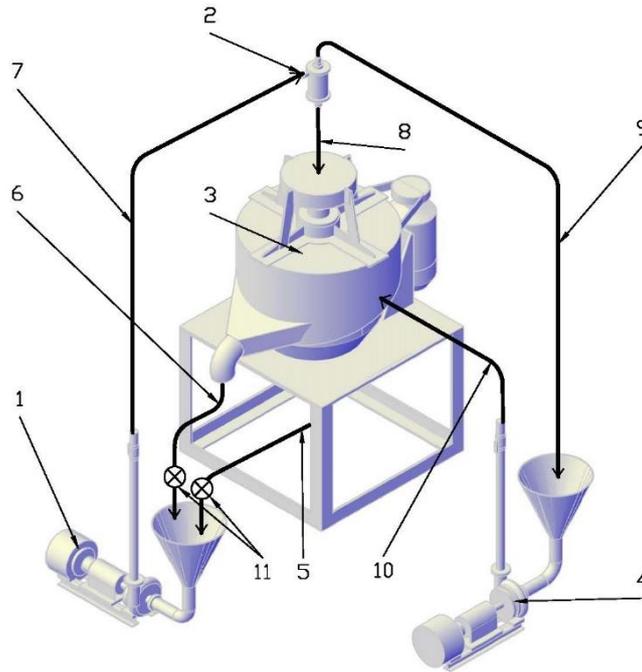


Рис. 2. Компоновка оборудования при проведении заводских испытаний:

- 1, 4 – песковый насос; 2 – узел гидроциклонирования; 3 – центробежная отсадочная машина; 5 – концентрат центробежной отсадочной машины; 6 – хвосты центробежной отсадочной машины; 7 – питание короткоконусного гидроциклона ККГЦ-120; 8 – пески ККГЦ-120; 9 – слив ККГЦ-120; 10 – обратная (технологическая), подрешетная вода центробежной отсадочной машины; 11 – точки отбора проб

Fig. 2. Equipment layout for factory testing:

- 1, 4 – sand pump; 2 – hydro-cyclone unit; 3 – centrifugal jiggering machine; 5 – centrifugal jiggering machine concentrate; 6 – centrifugal jiggering machine tailings; 7 – KKGЦ-120 short-cone cyclone feed; 8 – KKGЦ-120 underflow; 9 – KKGЦ-120 overflow; 10 – centrifugal jiggering machine circulating (process) underscreen water; 11 – sampling point

Отбор проб концентрата и хвостового продукта осуществлялся полным кратковременным пересечением потоков указанных продуктов.

Определение содержания золота в пробах проводилось методом пробирного анализа в лаборатории фабрики.

В ходе испытаний определялись оптимальные параметры частоты вращения отсадочной камеры и частоты колебаний подвижного конуса ЦОМ.

За основу технологических режимов работы при испытании ЦОМ на ЗИФ № 2 были приняты рациональные технологические режимы, полученные при проведении аналогичных испытаний на ЗИФ № 1.

За время испытания было проведено девять опытов с различными параметрами работы машины.

Средняя производительность при обогащении хвостов фабрики составила 10 т/ч при проектной производительности отсадки до 15 т/ч. Ограничение производительности было обусловлено малой плотностью подаваемого на обогащение материала (не более 12 %), ввиду чего пропускная способностью пустотелого питающего вала машины была недостаточной при работе на обводненном исходном питании (при проведении испытания ЦОМ на ЗИФ № 1 плотность исходного питания составляла около 50 %, а производительность машины достигала 24,2 т/ч при средней производительности 15,5–16,5 т/ч).

При проведении опытов амплитуда хода подвижного днища изменялась от 9 до 12 мм, частота его пульсации – от 200 до 280 мин⁻¹, а частота вращения отсадочной камеры – от 150 до 225 мин⁻¹.



Графики зависимостей распределения золота в продукты обогащения от частоты пульсаций подвижного конуса и частоты вращения отсадочной камеры машины представлены на рис. 3 и 4 соответственно.

По результатам проведения испытаний экспериментального образца ЦОМ на ЗИФ № 1 было установлено, что наиболее эффективные технологические показатели (извлечение золота в концентрат и выход концентрата) получены при частоте вращения отсадочной камеры 200 мин⁻¹. Примерно при такой же частоте вращения отсадочной камеры

(200–250 мин⁻¹) были получены наилучшие технологические показатели и при проведении испытания ЦОМ на ЗИФ № 2. Дальнейшему увеличению частоты вращения препятствовало намокание ленточного ремня привода отсадочной камеры, что приводило к его пробуксовке. Намокание происходило вследствие разбрызгивания хвостового продукта ЦОМ и попадания его на внутреннюю поверхность ремня. Данный конструктивный недостаток не представлялось возможным устранить в процессе проведения испытания.

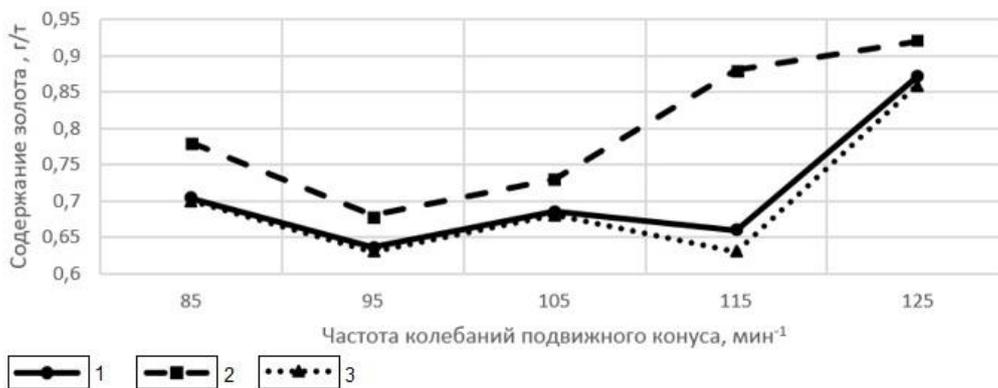


Рис. 3. График зависимости распределения золота в продуктах обогащения центробежной отсадочной машины от частоты пульсаций подвижного конуса при частоте вращения отсадочной камеры 200 мин⁻¹:

1 – исходное питание; 2 – концентрат; 3 – хвосты

Fig. 3. Distribution of gold in the centrifugal jigging concentration products as a function of the rolling cone pulsation frequency, with the jigging chamber rotation frequency of 200 min⁻¹:

1 – initial feed; 2 – concentrate; 3 – tailings

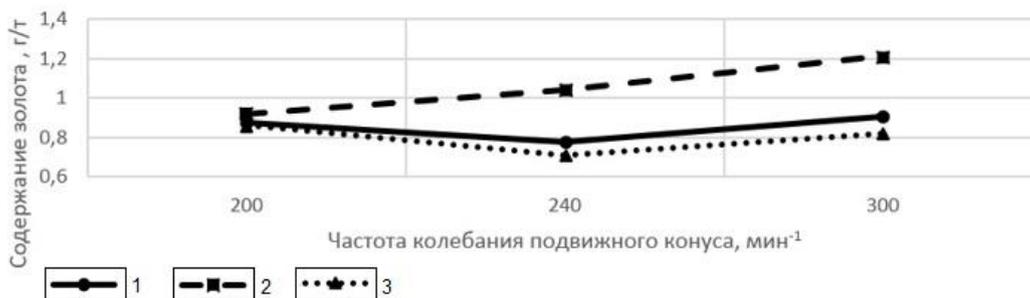


Рис. 4. График зависимости распределения золота в продуктах обогащения центробежной отсадочной машины от частоты вращения отсадочной камеры при постоянной частоте пульсаций подвижного конуса 125 мин⁻¹:

1 – исходное питание; 2 – концентрат; 3 – хвосты

Fig. 4. Distribution of gold in the centrifugal jigging concentration products as a function of the jigging chamber rotation frequency, with a constant pulsation frequency of the rolling cone, 125 min⁻¹:

1 – initial feed; 2 – concentrate; 3 – tailings



На графиках зависимостей распределения золота в продукты обогащения ЦОМ от частоты пульсаций подвижного конуса при частоте вращения отсадочной камеры 200 мин^{-1} и распределения золота в продукты обогащения ЦОМ от частоты вращения отсадочной камеры при постоянной частоте пульсаций подвижного конуса 125 мин^{-1} (см. рис. 3, 4) показана зависимость извлечения золота в концентрат от частоты вращения отсадочной камеры ω и частоты колебаний подвижного конуса аппарата η ; она увеличивается с возрастанием ω и η . Выход концентрата γ при проведении экспериментов практически не изменялся.

Появились основания полагать, что с увеличением ω и η извлечение золота в концентрат ЦОМ будет возрастать.

При обогащении концентрата ЦОМ на концентрационном столе происходило образование концентрата стола в виде сульфидной дорожки шириной 3–4 см, в которой при его остановке под нагрузкой визуально наблюдались зерна золота микронного размера. При этом из-за большой перегрузки концентрационный стол работал в неоптимальном режиме, в связи с чем извлечение золота в его концентрат из концентрата ЦОМ не превышало 41–42 %.

Результаты испытаний на ЗИФ № 2 подтвердили технологическую эффективность работы аппарата и ее зависимость от частоты вращения отсадочной камеры и частоты колебаний подвижного конуса, которая была выявлена при проведении испытаний аппарата на ЗИФ № 1. Более высокие технологические показатели, достигнутые при испытании на ЗИФ № 2, объясняются устранением ряда конструктивных недостатков, выявленных при испытании на ЗИФ № 1, особенно изменениями конструкции гидроуплотнения, а также более благоприятным вещественным составом обогащаемого сырья.

Повторные испытания на ЗИФ № 1. Данные испытания проводились на модернизированной конструкции ЦОМ,

внесенные изменения послужили значительному улучшению качества получаемых продуктов обогащения.

Переработка исходной руды на ЗИФ № 1 осуществляется по развернутой схеме, предусматривающей стадийное дробление и измельчение с последующей классификацией в спиральных классификаторах и гидроциклонах и направлением на цианирование тонкоизмельченных продуктов. Свободное золото в отвальных хвостах цианирования практически отсутствует, и ценный компонент находится в тесной ассоциации с тонкозернистыми сульфидами (пиритом), часть из которых присутствует в виде тонкой вкрапленности в сопутствующих минералах и с породообразующими минералами.

Вышеизложенное свидетельствует о том, что продукт, используемый для опытно-промышленных испытаний, по крупности и форме нахождения золота, крупности материала и сульфидов, с которыми ассоциирует часть золота, является труднообогатимым гравитационными методами, в том числе на ЦОМ.

Заключение

Испытания ЦОМ проводили в соответствии со специально разработанными и утвержденными методиками.

Технологическую эффективность оценивали по извлечению золота в концентрат с учетом выхода концентрата.

Основными факторами, влияющими на технологический процесс при обогащении в ЦОМ, являются [11]:

- производительность машины – до 15 т/ч ;
- частота колебаний подвижного конуса – 200 и 240 мм ;
- частота вращения отсадочной камеры – $250, 300, 350$ и 400 об./мин ;
- давление подрешетной воды – $2,5\text{--}3 \text{ МПа}$.

Эти параметры подвергались изменениям в соответствии с разработанным алгоритмом и методикой испытаний.

В целом технологические показатели, полученные в ходе проведения



опытно-промышленных испытаний машины на сырье с неблагоприятным вещественным составом (хвостах цианирования) на ЗИФ № 1, были признаны вполне удовлетворительными.

Наилучшие показатели при обогащении хвостов цианирования фабрики на модернизированной ЦОМ соответствуют выходу концентрата 10,87 и 16,00 %, извлечению золота 21,13 и 23,73 %, содержанию золота в исходном питании 576 и 383 мг/т, в хвостах – 510 и 360 мг/т, в концентрате – 1120 и 540 мг/т соответственно.

ЦОМ оценивается как перспективный обогатительный аппарат, в котором удачно реализовано сочетание центробежного ускорения, получаемого обогащаемым материалом за счет вращения отсадочной камеры, и поступательных движений подвижного конуса машины.

По результатам выполненной работы получен патент на изобретение № 2430784 РФБ МПК В03В 5/32 «Центробежно-отсадочный концентратор» [12].

Библиографический список

1. Батчер Г., Лапланте А.Р. Извлечение золота на месторождении Гранни Смит с применением отсадочной машины Келси J1800 // *Academia*. [Электронный ресурс]. URL: <http://academia.edu> (02.09.2019).
2. Прогрессивные методы обогащения и комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья / ред. В.А. Чантурия. Карганда: ТОО Арко, 2014. 624 с.
3. Маньков В.М., Тарасова Т.Б. Применение центробежно-гравитационного метода извлечения мелкого золота из россыпей // *Обогащение руд*. 1999. № 6. С. 3–8.
4. Гайдуков В.П. Гидравлика. М.; Л.: Гостоптехиздат, 1946. 229 с.
5. Алгебраистова Н.К., Макшанин А.В., Бурдакова Е.А., Маркова А.С. Обогащение благороднометалльного сырья на центробежных аппаратах // *Цветные металлы*. 2017. № 1. С. 18–22.
6. Верхотуров М.В., Самойлов В.Г., Гольсман Д.А. Механизм отсадки ширококлассифицированного материала // *Цветные металлы*. 2006. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rudmet.com/journal/811/article/12182/> (02.09.2019)
7. Вайсберг Л.А., Кускова Я.В. Совершенствование круглых концентрационных столов как развитие гравитационных методов обогащения // *Обогащение руд*. 2017. № 4. С. 54–60.
8. Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592 с.
9. Васильев А.М., Кусков В.Б. Особенности процесса концентрации тонкозернистых материалов в короткоконусном гидроциклоне // *Обогащение руд*. 2018. № 2. С. 30–34.
10. Карпенко Н.В. Опробование и контроль качества продуктов обогащения руд. М.: Недра, 1987. 215 с.
11. Соломин К.В. Обогащение россыпных месторождений полезных ископаемых. М.: Металлургиздат, 1961. 399 с.
12. Пат. № 2430784 РФБ. МПК В03В 5/32. Центробежно-отсадочный концентратор / В.М. Маньков, М.С. Лучко, С.А. Патрин. Заявл. 29.12.2009; опублик. 10.10.2011.

References

1. Batcher G, Laplante AR. Recovery of Gold Carriers at the Granny Smith Mine Using Kelsey Jigs J1800. *Academia = Academy*. Available from: <http://academia.edu> [Accessed 2nd September 2019].
2. Chanturiya VA. *Advanced methods for beneficiation and complex processing of natural and technogenic raw mineral materials*. Karaganda: TOO Arko; 2014. 624 p. (In Russ.)
3. Man'kov VM, Tarasova TB. Centrifugal gravity method for fine gold recovery from gravel deposits. *Obogashchenie rud = Ore Dressing*. 1999;6:3–8. (In Russ.)
4. Gaidukov VP. *Hydraulics*. Moscow; Leningrad: Gostoptekhizdat; 1946. 229 p. (In Russ.)
5. Algebraistova NK, Makshinin AV, Burdakova EA, Markova AS. Centrifugal processing of precious metal raw materials. *Tsvetnye metally = Non-ferrous Metals*. 2017;1:18–22. (In Russ.)
6. Verkhoturov MV, Samoilov VG, Golsman DA. Jigging procedure for the broad-classified material. *Tsvetnye metally = Non-ferrous Metals*. 2006;5. Available from: <http://www.rudmet.com/journal/811/article/12182/> [Accessed 2nd September 2019].
7. Vaisberg LA, Kuskova YaV. Improvement of circular concentrating tables as development of gravity concentration methods. *Obogashchenie rud = Ore Dressing*. 2017;4:54–60. (In Russ.)
8. Pronikov AS. *Machine reliability*. Moscow: Mashinostroenie; 1978. 592 p. (In Russ.)



9. Vasil'ev AM, Kuskov VB. Specific features of the concentration process for fine-grained materials in a short-cone hydrocyclone. *Obogashchenie rud = Ore Dressing*. 2018;2:30–34. (In Russ.)

10. Karpenko NV. *Sampling and quality control of ore-concentration products*. Moscow: Nedra; 1987. 215 p. (In Russ.)

11. Solomin KV. *Concentration of gravel deposits of minerals*. Moscow: Metallurgizdat; 1961. 399 p. (In Russ.)

12. Man'kov VM, Luchko MS, Patrín SA. *Centrifugal-jigging concentrator*. Patent RFb, no. 2430784; 2011. (In Russ.)

Критерии авторства / Authorship criteria

Лучко М.С., Федотов П.К. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Maksim S. Luchko and Pavel K. Fedotov are the authors of the article, hold equal copyright and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов / Responsibility for plagiarism

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Сведения об авторах / Information about the authors



Лучко Максим Сергеевич,

аспирант, ведущий инженер,
Иркутский научно-исследовательский институт
благородных и редких металлов и алмазов,
664025, г. Иркутск, Бульвар Гагарина, 38, Россия,
✉ e-mail: maxuse@mail.ru

Maksim S. Luchko,

Postgraduate, Senior Engineer,
Irkutsk Research Institute of Precious and Rare Metals and Diamonds,
38 Gagarin Blvd., Irkutsk, 664025, Russia,
✉ e-mail: maxuse@mail.ru



Федотов Павел Константинович,

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры обогащения полезных ископаемых
и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: fedotov@istu.edu

Pavel K. Fedotov,

Dr. Sci. (Eng.), Full Professor,
Professor, Department of Mineral Processing
and Environmental Protection n.a. S.B. Leonov,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: fedotov@istu.edu