

**И.А. Матвеев, Н.Г. Еремеева, А.И. Матвеев,
А.М. Монастырев**

КОНЦЕНТРАТОР ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ МЕЛКОГО ЗОЛОТА

Изложены результаты экспериментальных исследований проведенных в крутонаклонном концентраторе, разработанном и созданном в ИГДС СО РАН имени Н.В. Черского. Определены рациональные конструктивные и режимные параметры работы укрупненной лабораторной модели. Улучшена конструкция донной части концентратора, в связи, чем появилась возможность пересортировки и сокращения осаждаемого материала в донной части. Достигнуто сокращение концентрата в 2 раза без потерь ценного тяжелого компонента (золота) тонких фракций крупностью $-0,25+0,00$ мм. Проведены экспериментальные исследования процессов извлечения золота из хвостов обогащения алмазосодержащих песков в натуральных (полевых) условиях в опытном варианте концентратора с пропускной способностью до 9 м³/ч по твердому и до 70 м³/ч по пульпе при рабочем объеме камеры концентратора 150 л, была достигнута высокая производительность и степень сокращения концентратора, что подтверждает конкурентоспособность нового оборудования.

Ключевые слова: частица, классификация, модель, концентратор, угол наклона, пластина, обогащение.

В условиях непрерывного ухудшения минерально-сырьевой базы россыпной золотодобычи остро встают вопросы вовлечения в процесс переработки бедных и техногенных месторождений, в которых большая часть золота представлена в трудноизвлекаемой форме с преобладанием частиц мелких и тонких классов крупности.

В связи с этим основной задачей при обогащении золото-содержащих россыпей содержащих мелкие и тонкие классы золота, является совершенствование технологии за счет применения зарубежных и отечественных аппаратов различных конструкций [1–8].

Для решения этой проблемы нами исследовались особенности поведения минеральных частиц различной плотности и формы, увлекаемых восходящим потоком воды по наклонной твердой поверхности, где была установлена возможность

существенного изменения гидравлической крупности частиц, вследствие чего достигается высокий эффект разделения частиц уплощенной формы и относительно изометричных частиц [9–11].

Основываясь на полученном эффекте при изучении поведения минеральных частиц по наклонной поверхности был разработан и создан крутонаклонный концентратор принципиально новой конструкции. Главным элементом конструкции концентратора является наклонно установленные рифленые пластины, на поверхности которых и происходит разделение частиц. В концентраторе разделение материалов в объеме пульпы происходит по принципу равнопадаемости или гидравлической классификации, а на рифленые поверхности пакета пластин – по принципу гравитационного разделения минералов по наклонной плоскости. Благодаря сочетанию двух видов разделения в новом аппарате одновременно происходит гидравлическая классификация исходного материала на фракции по равнопадаемости и последующее фракционное обогащение, за счет чего исключается негативное влияние частиц разной гидравлической крупности друг другу при разделении материалов по плотности.

Ранее были определены оптимальные параметры концентратора: угол наклона хвостовой части не должен быть меньше 45° ; угол наклона рифлей – 60° , поперечный угол наклона концентратора – 70° .

По результатам экспериментальных данных была рассчитана и сконструирована укрупненная лабораторная модель крутонаклонного концентратора (рис. 1). При испытании концентратора было выявлено пониженное значение выхода концентрата при сокращении пробы 50–75%.

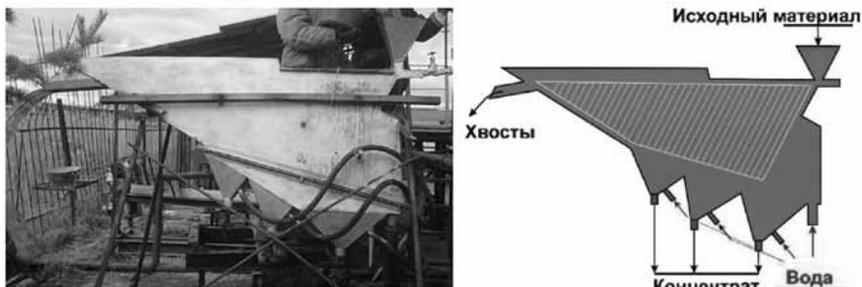


Рис. 1. Укрупненная лабораторная модель крутонаклонного концентратора

Экспериментальные исследования показали, что в донной части концентратора происходит существенное накопление как тяжелой фракции, так и относительно крупных частичек, что в свою очередь сказывается и на степень сокращения и на качество концентрата. В связи с этим были проведены исследования для выявления возможности перерешетки и сокращения осаждаемого материала в донной части концентратора за счет изменения конструкции.

На начальном этапе была разработана лабораторная экспериментальная модель донной части основной первой секции крутонаклонного концентратора. Процесс работы экспериментальной модели заключается в следующем: материал через патрубок для подачи исходного материала поступает в рабочую камеру и перемещается на пластинки, установленные под углом по ходу перемещения потока, где создаются восходящие потоки на поверхности пластин за счет подачи дополнительной воды, подаваемой из специально установленных патрубков, благодаря которым происходит перемещение частиц по поверхности пластин и одновременно дополнительная перерешетка минеральных частиц. Наиболее тяжелые из них скатываются противотоком по поверхности пластин и попадают в камеру для сбора концентрата, а легкие увлекаются потоком воды в патрубок для разгрузки хвостов.

В модели предусматривалась возможность регулирования углов наклона пластин, расхода дополнительной воды (транспортная и перерешетная).

Исследования проводились следующим образом. Искусственная смесь, состоящая из речного песка (-0,5 мм), магнетита и вольфрама (-0,6+0,315 мм) подавалась через патрубок для подачи исходной пробы, изменяли расход воды и угол наклона пластин (от 20 до 35 градусов).

При сравнении результатов опыта использовали метод оценки эффективности обогащения по формуле

$$E = \frac{100 * v * (\beta - \alpha)}{\alpha * (100 - \alpha)}$$

где E – эффективность обогащения, %; v – выход концентрата, %; β – содержание ценного компонента в концентрате, %; α – содержание ценного компонента в исходном продукте, %. Сводные данные результатов представлены в табл. 1.

Для оценки возможности обогащения золота были проведены эксперименты с использованием вольфрама в качестве

Таблица 1

Сводные данные

№ опыта	Расход воды, л/мин		Угол наклона пластины, град.			Концентрат		Хвосты		Эффективность обогащения, %
	транспортная	перечистная	1	2	3	выход, %	извлечение, %	выход, %	извлечение, %	
1	10,91	13,33	20	20	20	43,50	63,59	56,50	36,41	22,12
2	13,64	10,91	25	20	25	48,88	71,88	51,12	28,12	25,39
3	12	15	30	30	30	50,26	66,89	49,74	33,11	18,49
4	10,91	13,33	30	30	30	48,28	65,00	51,72	35,00	18,48
5	10,91	13,33	30	35	35	62,71	81,93	37,29	18,07	21,16
6	10,91	15	30	35	35	55,93	65,03	44,07	34,97	10,03
7	10	15	30	35	35	56,32	69,29	43,68	30,71	14,29
8	10	12	30	35	35	70,52	88,76	29,48	11,24	20,14
9	12	12	30	35	35	65,56	85,18	34,44	14,82	21,62
10	12	10	25	20	20	71,65	92,09	28,35	7,91	22,63
11	12	12	20	20	25	50,52	71,86	49,48	28,14	23,58
12	12	15	20	20	25	43,83	58,46	56,17	41,54	16,21
13	12	15	35	20	20	32,81	41,29	67,19	58,71	9,93
14	12	12	35	20	20	44,32	57,22	55,68	42,78	14,27
15	12	10	35	20	20	52,67	76,65	47,33	23,35	26,51
16	10	15	20	20	35	38,61	47,54	61,39	52,46	9,88
17	10	12	20	20	35	49,76	72,16	50,24	27,84	24,74
18	10	12	20	25	35	52,34	72,60	47,66	27,40	22,42

имитатора золота (плотность 19,3). Полученные усредненные результаты экспериментов представлены в табл. 2.

В первом опыте, извлечение вольфрама в концентрат составляет 100% при выходе его 57,94%, т.е. сокращение материала происходит в 1,72 раза.

Во втором опыте степень сокращения увеличивается до 2,3, но при этом извлечение концентрата уменьшается до 73,33%.

Таким образом, основываясь на проведенных исследованиях нами была модернизирована конструкция укрупненной лабораторной модели крутонаклонного концентратора. В донной части концентратора, по горизонтали над накопителями кон-

Таблица 2

Усредненные результаты извлечения вольфрама

№ опыта	Расход воды, л/мин		Угол наклона пластины, градус			Концентрат			Хвосты		
	транспортная	перечистная	1	2	3	выход, %	извлечение магнетита, %	извлечение вольфрама, %	выход, %	извлечение магнетита, %	извлечение вольфрама, %
1	12	10	35	20	20	57,94	81,46	100,00	42,06	18,54	0,00
2	12	15	20	20	35	43,39	46,87	73,33	56,61	53,13	26,67

центрата была встроена система поперечных наклонно установленных пластин с чередующимися патрубками для подачи дополнительной воды. Принципиальная конструкция крутонаклонного концентратора схематично представлена на рис. 2.

Спроектирован и изготовлен опытный вариант концентратора с пропускной способностью до 1,5 т/ч по твердому и до 30 м³/ч по пульпе при рабочем объеме камеры концентратора 150 л.

Регулируя подачу воды, были определены его оптимальные параметры: на осадительные пластины – 1 м³/ч, и в накопитель концентрата – 4 м³/ч, при этом достигнуто сокращение исходного материала в 4 раза, выход концентрата составил 24,76%, извлечение полезного компонента – 92,80% (рис. 3).

1) максимальный расход воды на осадительные пластины 15 м³/ч; 2) расход воды на осадительные пластины 6 м³/ч и 4 м³/ч на накопители концентрата; 3) расход воды на осадительные пластины 13 м³ ч; 4) расход воды на осадительные пластины

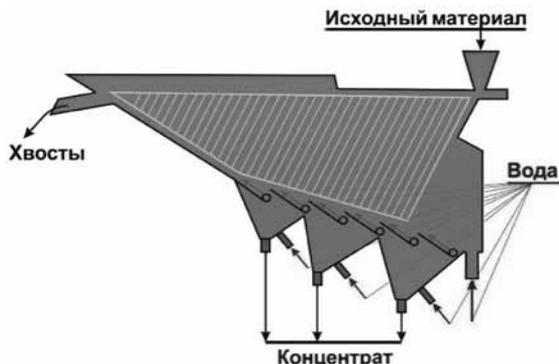


Рис. 2. Схема модернизированного концентратора

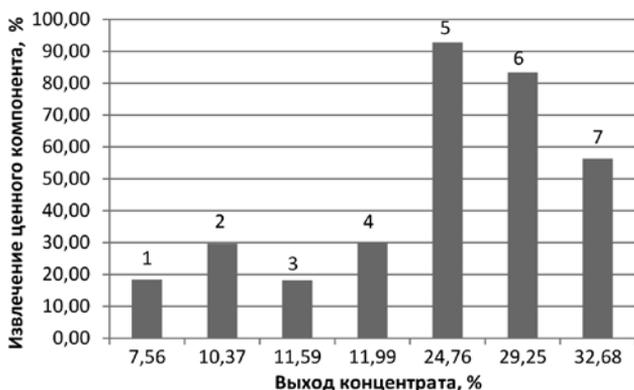


Рис. 3. Уровень выхода концентрата от извлечения имитатора ценного компонента при разных условиях проведения экспериментов

10 м³/ч; 5) расход воды на осадительные пластины 1 м³/ч и 4 м³/ч в накопители концентрата; 6) расход воды в накопители концентратов 4 м³ ч, без подачи воды на осадительные пластины; 7) без подачи воды на осадительные пластины и в накопители концентратов.

Были проведены экспериментальные исследования процессов извлечения золота на крутонаклонном концентраторе из хвостов обогащения алмазосодержащих песков в натуральных (полевых) условиях. Обогащению подвергались пески класса -1 мм с низким содержанием золота от 5,5 до 33,4 мг/м³, при этом золото, в основном, представлено в классах крупности -0,25+0,125 мм – 52% и -0,125+0 мм – 23,5%, что относится по классификации к трудно извлекаемым гравитационным методам обогащения мелкого и тонкого золота. Крупнообъемные эксперименты проводились при изменении: производительности, времени промывки, разгрузки концентрата, расхода промывочной воды на осадительные пластины и в накопитель концентрата. В результате проведенных экспериментов извлечение золота составило 45,65%, при выходе концентрата 0,42%. При этом положительным результатом является высокая производительность (9 м³/ч) и степень сокращения концентрата, достигающая очень высоких значений до 250 раз, предопределяющая в перспективе конкурентоспособность нового оборудования [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвинцев В.С. Состояние и развитие технологий и горного оборудования для освоения россыпных месторождений благородных

металлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 12. – С. 359–366.

2. *Афанасенко С. И.* Современные технологии добычи мелкого золота // Золотодобыча. – 2010. – № 139. – С. 12–15.

3. *Мязин В. П., Литвинцева О. В., Закиева Н. И.* Технология обогащения золотосодержащих песков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 9. – С. 83–84.

4. *Бурдин Н. В., Лебедев В. И., Лебедева М. Ф.* Извлечение мелкого золота из труднопромывистых россыпных месторождений золота // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – № 4. – С. 70–71.

5. *Кармазин В. В., Раджабов М. М., Измалков В. А.* Исследование процесса расслаивания минеральных частиц различной плотности в гравитационно-сегрегационном концентраторе // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 7. – С. 73–78.

6. *Верхотуров М. В., Дудко И. С., Хмелев Н. Б.* К проблеме гравитационного обогащения тонких классов минерального сырья / III конгресс обогатителей стран СНГ, Москва, 20–23 марта 2001 г. Тезисы докладов. – М.: МИСиС, 2001. – С. 78.

7. *Burt R.* The role of gravity concentration in modern processing plants // Minerals Engineering. 1999, Vol. 12, pp. 1291–1300.

8. *Wills B. A., Napier-Munn T. J.* Mineral processing technology. Oxford. 2006. 456 p.

9. *Григорьев Ю. М., Шеин Н. С., Матвеев И. А.* Моделирование поведения уплощенных частиц в потоке гидросмеси в изогнутой трубе // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – СВ 30. – С. 265–271.

10. *Матвеев А. И., Григорьев А. Н.* Технологические решения на основе разработанных аппаратов рудоподготовки и обогащения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – СВ 30. – С. 84–93.

11. *Матвеев И. А., Филиппов В. Е., Матвеев А. И., Еремеева Н. Г.* Изучение поведения минеральных частиц в потоке воды / Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых ученых. Материалы 12-й Международной школы молодых ученых и специалистов: сборник научных статей ИПКОН РАН. – М., 2015. – С. 312–318.

12. *Матвеев И. А., Матвеев А. И., Еремеева Н. Г.* Предварительные исследования извлечения золота из хвостов обогащения алмазосодержащих песков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015 – СВ 30. – С. 251–259. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Матвеев Игорь Андреевич*¹ – младший научный сотрудник,
e-mail: igor.andr.matveev@gmail.com,

*Еремеева Наталья Георгиевна*¹ – научный сотрудник,
e-mail: danng1@mail.ru,

*Матвеев Андрей Иннокентьевич*¹ – доктор технических наук,
зав. лабораторией, e-mail: andrei.mati@yandex.ru,

*Монастырев Афанасий Михайлович*¹ – ведущий инженер,

¹ Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН.

Matveev I.A., Ereneyeva N.G., Matveev A.I., Monasterev A.M.
**CONCENTRATOR FOR BENEFICATION
OF FINE GOLD**

The results of experimental studies conducted in steeply inclined concentrator, designed and developed in IGDS SO RAN N.V. Chersky name. The rational design and regime parameters of the enlarged laboratory model. Improved hub structure bottom in connection than recleaning the opportunity and reduce the deposited material at the bottom. Achieved reduction in concentrate by 2 times without loss of valuable heavy component (gold) fines of size 0.25 +0.00 mm. Experimental study of the processes of extracting gold from the tailings of diamond-bearing sands in situ (field) conditions in the test version of the concentrator with a capacity of up to 9 m³/h at a fixed and up to 70 m³/h pulp with a working volume of the concentrator chamber 150 liters, has achieved a high and the degree of performance reduction of the hub, which supports the competitiveness of the new equipment.

Key words: particle, classification, model, concentrator, angle, plate, preparation.

AUTHORS

*Matveev I.A.*¹, Junior Researcher, e-mail: igor.andr.matveev@gmail.com,

*Ereneyeva N.G.*¹, Researcher, e-mail: danngl@mail.ru,

*Matveev A.I.*¹, Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory,
e-mail: andrei.mati@yandex.ru,

*Monasterev A.M.*¹, Leading Engineer,

¹ N.V. Chersky Institute of Mining of the North, Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences, 677980, Yakutsk, Russia.

REFERENCES

1. Litvintsev V.S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009, no 12, pp. 359–366.
2. Afanasenko S. I. *Zolotodobycha*. 2010, no 139, pp. 12–15.
3. Myazin V.P., Litvintseva O.V., Zakieva N. I. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2012, no 9, pp. 83–84.
4. Burdin N.V., Lebedev V.I., Lebedeva M.F. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya*. 2012, no 4, pp. 70–71.
5. Karmazin V.V., Radzhabov M.M., Izmalkov V.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 7. C. 73–78.
6. Verkhoturov M.V., Dudko I.S., Khmelev N.B. *III kongress obogatiteley stran SNG. Tezisy dokladov*, Moskva, 20–23 marta 2001 g. (III Congress of Dressers of the CIS Countries, thesis of reports. Moscow, March 20–23, 2001), Moscow, MISiS, 2001, pp. 78.
7. Burt R. The role of gravity concentration in modern processing plants. *Minerals Engineering*. 1999, Vol. 12, pp. 1291–1300.
8. Wills B.A., Napier-Munn T.J. *Mineral processing technology*. Oxford. 2006. 456 p.
9. Grigor'ev Yu. M., Shein N. S., Matveev I. A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015. Special edition 30, pp. 265–271.
10. Matveev A. I., Grigor'ev A. N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015. Special edition 30, pp. 84–93.
11. Matveev I. A., Filippov V. E., Matveev A. I., Ereneyeva N. G. *Problemy osvoeniya nedr v XXI veke glazami molodykh uchenykh. Materialy 12-y Mezhdunarodnoy shkoly molodykh uchenykh i spetsialistov: sbornik nauchnykh statey IPKON RAN (Challenges of Subsoil Development in the 21st Century in the Eyes of Young Scientists: XII International School of Young Scientists and Specialists—IPKON RAS Proceedings)*, Moscow, 2015, pp. 312–318.
12. Matveev I. A., Matveev A. I., Ereneyeva N. G. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015 Special edition 30, pp. 251–259.