зонам становятся эффективными, если учитывать экономические ресурсы территорий и зонировать земельный фонд.

1. Малышева, Н. Н. Приоритетные направления развития мелиорации на Кубани / Н.Н. Малышева, С.Н. Якуба, С.А. Владимиров // Рисоводство. 2019. № 1 (42). – С. 58-66.
2. Владимиров, С. А. Основные положения стратегии устойчивого рисоводства на эколого-ландшафтной основе / С. А. Владимиров, В. П. Амелин // Науч. журнал Труды КубГАУ – 2009. – Вып. 3(18). – С. 99-107..
3. Амелин, В. П. Методологические аспекты перевода отрасли рисоводства в статус экологически безопасного и устойчивого производства / В.П. Амелин, С.А. Владимиров // Научн. журнал труды КубГАУ. – 2010. – Вып. 4(25). – С. 152-156.
4. Кузнецов, Е.В. Значение природно-ресурсного потенциала для обеспечения устойчивого функционирования агроландшафтов степной зоны Кубани / Е.В. Кузнецов, С.А. Владимиров, Н.П. Дьяченко // Научный журнал Труды КубГАУ. – 2007. – Вып. 5(9). – С. 176-179.
5. Владимиров, С.А. Методологические основы стратегии безопасного и устойчивого рисоводства / С.А. Владимиров, В.П. Амелин // Науч. жур-нал Труды КубГАУ. – 2009. – Вып. 3(18). – С. 121-127.
6. Сафронова, Т. И. Вероятностный подход к решению проблем управ-ления технологическими процессами рисовой оросительной системы / Т. И. Сафронова, С. А. Владимиров, И. А. Приходько // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63. № 1. – С. 7.
7. Крылова, Н. Н., Экология водопользования на оросительных системах / Н. Н. Крылова, Е. И. Хатхоху // Итоги научно-исследовательской работы за 2017 год : сб. ст. по материалам 73-й науч.-практ. конф. преподавателей / отв. за вып. А. Г. Кощев. – Краснодар : КубГАУ, 2018. – С. 203-205.
8. Владимиров, С. А. Парадигма сбалансированного водопотребления при эксплуатации рисовых оросительных систем в Краснодарском крае / С. А. Владимиров, Н. Н. Малышева, Е. И. Хатхоху // Рисоводство. 2019. № 3 (44). – С. 88-94.
9. Кайтмесов, А. Х. Анализ эффективности использования земельного фонда на основе комплексных показателей / А. Х. Кайтмесов, Е. И. Хатхоху. // Вестник научно-технического творчества молодежи Кубанского ГАУ. В 4 т. / сост. А. Я. Барчукова, Я. К. Тосунов; под ред. А. И. Трубилина, отв. ред. А. Г. Кощев. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – Т. 2, вып. 1. – С. 14-18.
10. Владимиров, С. А. Агромелиоративные приемы возделывания риса на экологически чистой основе в условиях Нижней Кубани: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / С.А. Владимиров; НИМИ. – Новочеркасск, 1991. – 24 с.
11. Сафронова, Т.И. Информационная модель управления качеством состо-яния рисовой оросительной системы / Т.И. Сафронова, И.А. Приходько // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2007. № 6. С. 11-15.
12. Владимиров, С. А. Методика оценки сбалансированного земельного ис-пользования ресурсов и устойчивости агроландшафтов / С. А. Владими-ров, И. А. Приходько, Т. И. Сафронова // International Agricultural Journal. 2020. Т. 63. № 2. – С. 13.

Лебедев И.Ф., Матвеев А.И., Филиппов В.Е., Гаврильев Д.М.
Обогащение различных сыпучих геоматериалов в лабораторных моделях
барабанных сепараторов в аэродинамической среде

ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр Сибирского отделения РАН»
ИГДС СО РАН
(Россия, Якутск)

doi: 10.18411/lj-03-2021-28

idsp: ljjournal-03-2021-28

Аннотация

В статье приводятся результаты исследований по изучению процессов разделения различных минеральных частиц разной плотности в трех лабораторных моделях барабанных противоточных сепараторов с цилиндрической, конусной и многогранной формой рабочего органа. Результаты исследований показали, что наиболее высокие показатели извлечения тяжелых геоматериалов достигаются в барабанном сепараторе с цилиндрическим рабочим органом в отличие от конусного и многогранного сепараторов.

Ключевые слова: Минералы, аэродинамическая среда, плотность, барабанный сепаратор, тяжелые минералы, извлечение, разделение.

Abstract

The article presents the results of research on the study of the processes of separation of various mineral particles of different densities in three laboratory models of counter-flow drum separators with cylindrical, conical and multifaceted forms of the working body. The research results have shown that the highest rates of extraction of heavy geomaterials are achieved in a drum separator with a cylindrical working body, in contrast to conical and multi-faceted separators.

Keywords: Minerals, aerodynamic fluid, density, drum separator, heavy minerals, extraction, separation.

Разрабатываемые в настоящее время противоточные сепараторы для гравитационного разделения геоматериалов имеют очевидные технологические преимущества, которые заключаются в создании рациональных условий фракционного разделения при сочетании динамических процессов разрыхления материалов, создаваемого рабочим органом барабанного типа (обеспечение условий порозности при гравитационном разделении в водной или воздушной среде) с одной и взвешивании их с выносом легких и мелких частиц под действием аэро- и гидродинамических потоков с другой. При этом, важное место при работе сепаратора занимает поддержание разрыхленного состояния разделяемой минеральной смеси в рабочей зоне сепарации, зависящее от формы и скорости вращения барабана.

Изучение процессов разделения различных минеральных частиц разной плотности в аэродинамической среде проводилось в изготовленных трех моделях барабанных сепараторов с цилиндрической, конусной и многогранной формой барабана. Схема разделения минералов в барабанных противоточных сепараторах в воздушной среде представлена на рисунке 1.

Рисунок 1 - Схема работы барабанного сепаратора в воздушном потоке. 1 – барабанный сепаратор, 2 – рифли в виде спирали, 3 – емкость для разгрузки хвостов, 4 – емкость для разгрузки концентрата, 5 – патрубок подачи воздушного потока, 6 – патрубок подачи материала

Работа барабанного сепаратора заключается в следующем. Исходный геоматериал подается через патрубок 6 и под действием воздушного потока, подаваемого через патрубок 5 поступает в рабочую зону барабанного сепаратора 1, который вращается с определенным числом оборотов. При вращении барабана материал внутри постоянно перемешивается, подвергается воздействию воздушного потока, вследствие чего происходит разрыхление и разделение тяжелых и легких материалов. Взвешенный легкий материал захватывается потоком воздуха и выносится вверх в хвостоприемник 3. Тяжелый материал отрываясь от воздушного потока локализуется в донной части и при вращении барабана с помощью специальных винтообразных спиральных рифлей 2, закреплённых на внутренней поверхности барабана перемещается вниз и выгружается в концентратоприемник 4.

При проведении экспериментальных исследований процессов разделения минералов различной плотности $\rho=3,2-4 \text{ г/см}^3$, $\rho=4-6 \text{ г/см}^3$, $\rho=6,8-16 \text{ г/см}^3$, от пустой

породы плотностью до $\rho=2,5 \text{ г/см}^3$ использовалась измельченная кварцевая руда с крупностью $-3+0,1 \text{ мм}$. В качестве имитатора низкой плотности использовался гранат, средней – чугунный скрап, тяжелых минералов – вольфрам, пустой породы – кварцевый песок. Оценка эффективности разделения определялась по основному параметру – по степени извлечения.

На каждом этапе исследований разделения различных минералов определялись наиболее рациональные параметры работы сепараторов по сводным показателям степени сокращения и эффективности разделения: скорость воздушного потока, число оборотов барабана, угол наклона барабана определяемой относительно оси вращения.

В результате предварительных исследований найдены наиболее рациональные параметры. Лабораторные исследования разделения различных минералов в аэродинамической среде проводились при угле наклона установки относительно оси вращения барабана $\alpha=4^\circ$, числе оборотов 20 об/мин, скорости воздушного потока для минералов низкой плотности не более 8 м/с, средней – не более 12 м/с, высокой – не более 15 м/с.

Скорость воздушного потока подбирается по скорости витания выделяемого минерала разной плотности, в числовом значении должна быть ниже ее значения, т.е. чтобы минерал не увлекался воздушным потоком [1, 2]. Определение скорости витания минералов осуществляется по специальной методике в аэродинамической трубе, изогнутой по окружности с радиусом 20 см и градуированная от 0 до 90 градусов. Методика позволяет определить диапазон скорости воздуха от момента смещения (страгивания) до перехода в состояние витания. В таблице 1 приведены значения скорости витания по шкале плотности различных минеральных образований, использованных в экспериментах.

Таблица 1

Скорость витания различных минералов

Минералы, -3+0,1 мм	Гранат	Арсенопирит	Касситерит	Золото	Вольфрам
Скорость витания, м/с	7,4	8,9	11,2	15,4	19

Для разделения минеральных фракций разной плотности, т.е. разной скорости витания, диапазон скорости воздушного потока $V_{\text{п}}$ необходимый для их разделения должен соответствовать условиям: $V_{\text{л}} < V_{\text{п}} < V_{\text{т}}$, где $V_{\text{т}}$, $V_{\text{л}}$ – скорости витания тяжёлых и лёгких разделяемых минералов. Изменения скорости воздушного потока в данном диапазоне определяет интенсивность их разделения. В нашем случае, наименьшее значение скорости потока подбирается по скорости витания кварца с плотностью до $2,7 \text{ г/см}^3$ для рудных объектов с кварцевой матрицей, а для других случаев подбирается по скорости витания того минерала, от которого нужно разделить все остальные тяжёлые минералы. Практически, чем больше разница между скоростями витания пустой породы и извлекаемых полезных минералов, тем эффективнее процесс разделения в воздушном потоке и тем больше возможность регулирования интенсивностью потока воздуха.

Результаты наиболее характерных экспериментов по разделению различных тяжелых минералов в сепараторе с вращающимся цилиндрическим барабанным рабочим органом в аэродинамической среде приведен в таблице 2.

Таблица 2

Извлечение тяжелых минералов в цилиндрическом противоточном барабанном сепараторе в аэродинамическом потоке

№ опыта	Востав	Класс крупности, мм	Масса, г	Выход, г		Время сепарации, мин.	Скорость воздушного потока, м/с	Извлечение, %
				к-т	хв			
1.	кварц	-3+0,1	1000	361	628	5	8	57,1
	гранат		100	58	42			

2	кварц	-3+0,1	1000	253	736	5	11,8	74
	чугун		100	75	25			
3	кварц	-3+0,1	1000	221	775	5	15	94,2
	вольфрам		100	94	06			

Для относительно легкого минерала граната плотностью 3,2-4 г/см³ извлечение от пустой породы кварца плотностью 2-2,5 г/см³ в аэродинамической среде составляет 57,1%, для минералов с высокой плотностью 6-16 г/см³ извлечение составляет 74-94,2%.

Во вращающемся противоточном сепараторе с конической рабочей поверхностью барабана, для обогащения геоматериалов в аэродинамической среде, воздушный поток и обогащаемый геоматериал подается со стороны вершины конусной формы барабана, таким образом, что при подаче воздуха в сепаратор по всей длине рабочей зоны создается дифференцированный поток, где скорость потока последовательно уменьшается. Организация противонаправленного движения разделяемых частиц в сепараторе аналогично сепаратору с цилиндрической формой барабана. По мере продвижения разделяемого материала к расширяющейся части конусного сепаратора за счет снижения скорости потока (на 0,5-0,7 м/с) происходит последовательное и дополнительное выпадение мелких, тонких тяжелых частиц, за счет уменьшения аэродинамической силы воздействия на частицы.

Результаты наиболее характерных экспериментальных работ, по возможности обогащения тяжелых минералов в противоточном вращающемся коническом барабанном сепараторе в аэродинамической среде приведены в таблице 3.

Таблица 3

Извлечение тяжелых материалов (минералов) в коническом противоточном барабанном сепараторе в аэродинамическом потоке

№ опыта	Состав	Класс крупности, мм	Масса, г	Выход, г		Время подачи, мин.	Скорость воздушного потока, м/с	Извлечение, %
				к-т	хв			
1.	кварц	-3+0,1	1000	426	567	5	8	52
	гранат		100	54	46			
2.	кварц	-3+0,1	1000	371	605	5	11,8	69
	чугун		100	70	30			
3.	кварц	-3+0,1	1000	262	718	5	15	91,7
	вольфрам		100	92	8			

Из таблицы видно, что для минералов с высокой плотностью 6-16 см³ извлечение составляет 69-91,7%, для минералов с плотностью 3,2-4 см³ извлечение от пустой породы кварца плотностью 2-2,5 см³ - 52%.

Исследования разделения различных минералов в аэродинамической среде во вращающемся многогранном противоточном барабанном сепараторе проводились с использованием аналогичных рабочих параметров и минералов как в цилиндрическом и конусном сепараторах [3].

Результаты проведенных экспериментальных работ по эффективности разделения различных тяжелых минералов от пустой породы (кварцевый песок) во вращающемся многогранном противоточном барабанном сепараторе приведены в таблице 4.

Таблица 4

Извлечение тяжелых материалов (минералов) в многогранном противоточном барабанном сепараторе в аэродинамическом потоке

№ опыта	Состав	Класс крупности, мм	Масса, г	Выход, г		Время подачи, мин.	Скорость воздушного потока, м/с	Извлечение, %
				к-т	хв			
1.	кварц	-3+0,1	1000	232	746	5	8	48
	гранат		100	50	50			
2.	кварц	-3+0,1	1000	197	784	5	11,8	82,3
	чугун		100	83	17			
3.*	кварц	-3+0,1	1000	154	811	5	15	86,4
	вольфрам		100	87	13			

По результатам проведенных исследований разделения тяжелых материалов во вращающемся многогранном противоточном барабанном сепараторе в аэродинамической среде достигнуто извлечение 82,3-86,4% и низкие показатели 48% для минерала с относительно низкой плотностью 3,2-4 г/см³.

Объединенные сводные результаты экспериментальных исследований по извлечению минералов разной плотности в лабораторных вращающихся противоточных барабанных сепараторах под действием аэродинамического потока приведены в таблице 5.

Таблица 5

Извлечение минералов разной плотности в лабораторных барабанных сепараторах под действием аэродинамического потока

Параметры	Извлечение минералов в различных средах, %		
	Минералы плотностью 3,2-4 г/см ³	Минералы плотностью 4 - 6 г/см ³	Минералы плотностью от 6 г/см ³ и выше
1. Цилиндрический сепаратор	57,1	74	94,2
2. Конусный сепаратор	52	69	91,7
3. Многогранный сепаратор	48	82,3	86,4
Скорость воздушного потока, м/с	Не более 8	Не более 11,8	Не более 15
Число оборотов, об/мин.	20		
Угол наклона, град	4		

Таким образом, экспериментальными исследованиями эффективности разделения сыпучих геоматериалов крупностью -3+0,1 мм, но разного фракционного состава по плотности в аэродинамическом потоке, формируемый в барабанных противоточных сепараторах разной конструкции разделительной камеры установлено, что для разделения в аэродинамическом потоке в диапазоне скорости от 8 до 15 м/с наиболее рациональной формой рабочей камеры является цилиндрическая с показателями извлечения тяжелых фракций (имитаторов $\rho=6,8-16$ г/см³) в диапазоне от 57,1 до 94,2 %.

1. Г. К. Смышляев. Воздушная классификация в технологии переработки полезных ископаемых. М.Недра.1969.с102.
2. Лебдев И.Ф. Поведение минеральных частиц в воздушно-песчаном потоке / В.Е. Филиппов, Н.Г. Еремеева, И.Ф. Лебдев // Горный информ.-аналит. бюл.- 2001. –Вып. 10. - С. 231-234.
3. Патент № 199788 Российская Федерация, Барабанный противоточный сепаратор / Филиппов В.Е., Гаврильев Д.М., Осипов Д.А., Лебдев И.Ф. заявитель и патентообладатель Ин-т горн. дела Севера им. Н. В. Черского Сиб. отд-ния Рос. акад. наук. –опубл. 21.09.2020, Бюл. №27.