

УДК 622.349.5:622.79

Технология повышения качества урановых руд в процессе их добычи и первичной переработки*

ТЕМНИКОВ М. А.

Развитие ядерной энергетики требует увеличения добычи урановой руды, а следовательно, и производительности рудников. Это обуславливает применение систем отработки месторождений с массовыми способами отбойки руды и высоким разубоживанием. Стоимость гидрометаллургической переработки таких руд высока. Снижение себестоимости химического концентрата возможно за счет повышения качества урановых руд.

В статье рассматривается применение методов радиометрии для повышения качества руд при их добыче и первичном обогащении.

На рис. 1 приведены схемы контроля качества урановых руд для систем с селективной и массовой отбойкой руды. Римскими цифрами обозначены радиометрические методы, способствующие повышению качества руды, направляемой на гидрометаллургическую переработку.

Остановимся более подробно на каждом методе.

Известно, что по γ -излучению урановых руд можно определить концентрацию урана радиометрическим методом непосредственно в природном залегании. Метод определения содержания урана и мощности оруденения на обнаженной поверхности рудного тела условно назван радиометрическим гамма-опробованием, а те же определения в шпурах или скважинах — шпуровым гамма-опробованием или гамма-каротажем скважин [4—6].

Гамма-опробование забоев применяется при селективной отбойке руды и породы для выделения контуров рудных тел. По результатам опробования обуривается забой. Гамма-опробование осуществляется или способом разностного эффекта с помощью специальных свинцовых экранов, устанавливаемых на детекторах переносных радиометров, или радиометрами направленного приема γ -излучения.

Шпуровое гамма-опробование применяется для количественной оценки оруденения и определения границ рудных тел в шпурах, предназначенных для взрывных работ. Шпуры контролируются

для их правильной зарядки взрывчатым веществом (ВВ) с целью селективной отбойки руды и породы.

Получение результатов непосредственно на месте измерений, а также простота и доступность сделали возможным широкое применение этих методов опробования для повышения качества руды.

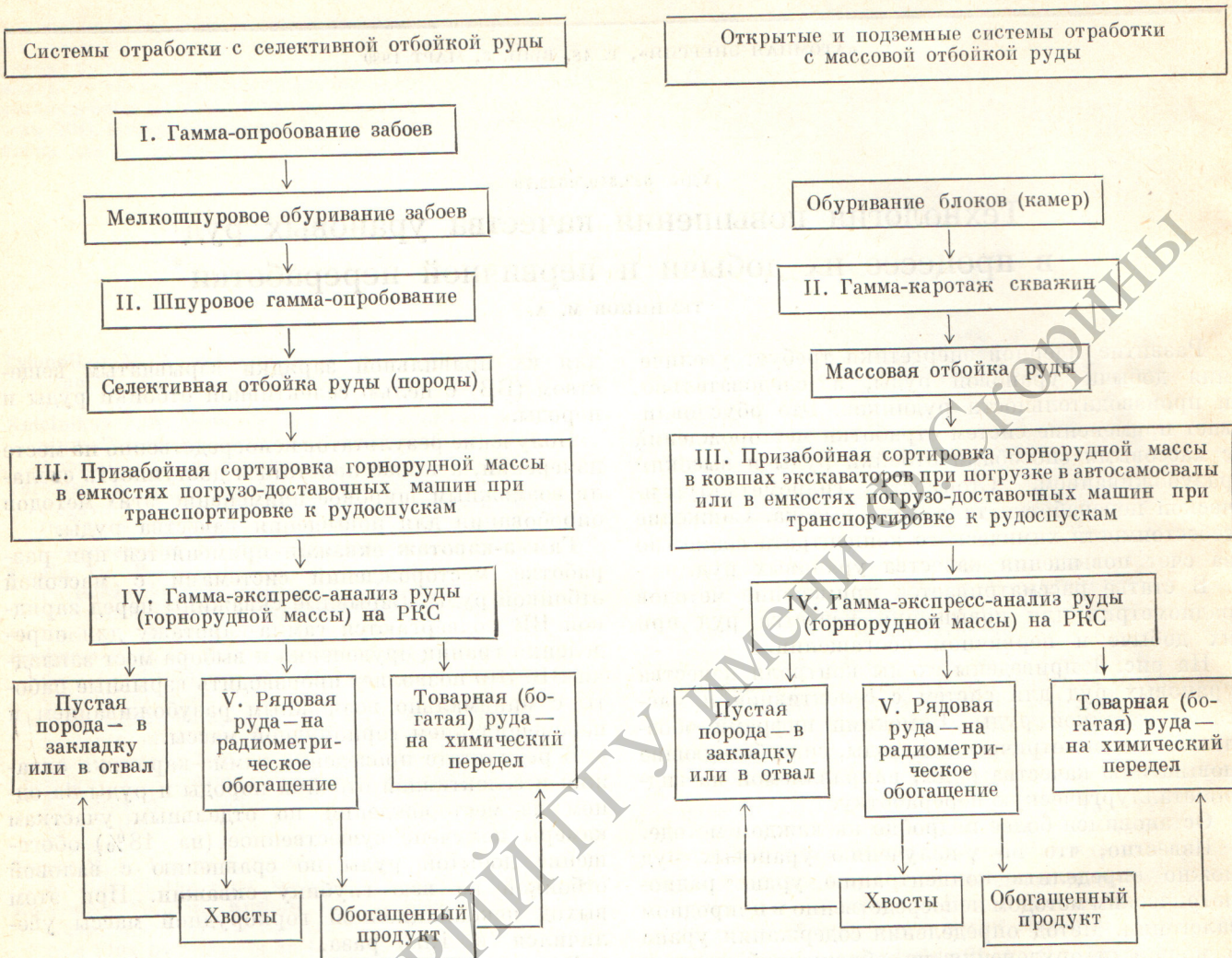
Гамма-каротаж скважин применяется при разработке месторождений системами с массовой отбойкой руды. Взрывные скважины перед зарядкой ВВ подвергаются гамма-каротажу для определения границ оруденения и выбора мест закладки ВВ. Это позволяет производить взрывные работы с минимально возможным разубоживанием и перемешиванием горнорудной массы.

В результате проведения гамма-каротажа скважин и селективной отбойки породы и руды на одном из месторождений по отдельным участкам камеры получено существенное (на 18%) обогащение добытой руды по сравнению с валовой отбойкой на всю глубину скважин. При этом выход некондиционной горнорудной массы увеличился в 1,38 раза.

Радиометрическая сортировка отбитой горнорудной массы в забое по результатам измерений в ковшах экскаваторов или в емкостях самоходных погрузо-доставочных машин применяется как способ первичного обогащения руд. Эта технология начала усиленно развиваться по мере использования на урановых рудниках и карьерах большегрузных вагонеток, автосамосвалов и железнодорожных думпкаров. Дело в том, что с увеличением порций, по которым сортируется руда, ее радиометрическая контрастность, или степень неравномерности распределения радиоактивного компонента, уменьшается. В то же время радиометрическая сортировка отбитой горнорудной массы в забое, в свою очередь, позволила пересмотреть системы разработки месторождений или отдельные элементы этих систем, а в ряде случаев отказаться от малопроизводительных систем горных работ с селективной отбойкой руд и перейти к высокопроизводительным системам с валовой и полуваловой отбойкой руды.

Радиометрическая сортировка отбитой горнорудной массы в ковшах экскаваторов осуще-

* Журнальный вариант доклада на симп. МАГАТЭ по оценке запасов урана и горной технике. Буэнос-Айрес, 1—4 окт. 1979 г.



Р и с. 1. Схема контроля качества урановых руд при их добыче и первичной переработке (РКС — радиометрическая контрольная станция)

ствляется с помощью особых приборов, состоящих из пульта, устанавливаемого в кабине машиниста экскаватора, и детекторов со специальной амортизацией, смонтированных на ковше экскаваторов в свинцово-стальных защитных экранах.

Об эффективности ковшовой сортировки горнорудной массы можно судить по следующим данным. Средние коэффициенты разубоживания руды на открытых работах до внедрения ковшовой сортировки составляли 25,1—31,0% (по отдельным блокам 48%) при нормативном разубоживании 20%. Внедрение ковшовой радиометрической сортировки позволило снизить их в среднем до 19,2% при максимальном значении 22,8 %.

Как уже отмечалось выше, при неизменном граничном содержании урана в руде с увеличением массы сортируемых порций руды уменьшается

выход хвостов и снижается содержание урана в товарной руде. Так, замена на одном из карьеров шестикубового ковша экскаватора на четырех- и трехкубовые привела к увеличению выхода хвостов сортировки на 3 и 5—5,5% соответственно. При этом содержание урана в руде повысилось на 3,3 и 5,7—6,0%, а разубоживание снизилось на 2,9 и 5,2% соответственно.

Повышению эффективности радиометрической сортировки в ковшах экскаваторов в некоторых случаях способствует уменьшение высоты уступа экскавации. Например, разбуривание и взрывание производятся при высоте уступа 15 м, а экскавация горнорудной массы — в два или три подступа, т. е. при высоте 7,5 или 5 м.

При подземных способах отработки урановых месторождений качество горнорудной массы, загру-

Таблица 1

Экспериментальные данные по сортировке одной и той же горнорудной массы в емкостях погрузо-доставочных машин до рудоспуска и в вагонетках (на РКС) после рудоспуска

Место-рождение	Система отработки	Выход хвостов сортировки, %		Абсолютное увеличение выхода хвостов, %	Примечание
		Забойная сортировка	РКС		
А	Горизонтальные слои сверху — вниз	24,5	7,9	16,6	Усредненные данные
	Подэтажное магазинирование	11,5	2,0	9,5	То же
Б	Подэтажное и слоевое (частично) обрушение	53,0	34,0	19,0	Отдельные эксперименты
		4,2	1,7	2,5	
		27,0	0,0	27,0	Усредненные данные
		17,3	10,8	6,5	
		25,4	11,6	13,8	

женной в кузов погрузо-доставочной машины, определяется в момент ее движения к рудоспускам с помощью радиометра, смонтированного на машине. В зависимости от качества (руда или хвосты) машина разгружается в тот или другой рудоспуск. Забойная сортировка устраняет перемешивание горнорудной массы в рудоспуске, являясь практически первичным обогащением добытой руды.

В табл. 1 приведены экспериментальные данные по забойной сортировке до рудоспуска и гамма-экспресс-анализу в вагонетках этой же горнорудной массы после рудоспуска. Из таблицы видно, что радиометрическая сортировка до рудоспуска позволяет увеличить выход хвостов в среднем на 9,5—16,6%, что приводит к повышению содержания урана в руде на 8—15%.

Гамма-экспресс-анализ горнорудной массы в транспортных емкостях (вагонетках, автосамосвалах и т. д.) давно стал неотъемлемой частью горноэксплуатационного комплекса работ для быстрого опробования всей горнорудной массы. Высокая точность опробования руд в емкостях и возможность оперативного изменения значений бортового содержания в продуктах сортировки дают основание рассматривать экспресс-анализ руд, также как и радиометрическую сортировку в забое, как первичный способ обогащения руд. Радиометрические контрольные станции (РКС) для гамма-экспресс-анализа устанавливаются под землей и на поверхности для сортировки горнорудной массы и позабойного учета добытого урана. РКС оборудуются специальными радиометрами

ми с блоками детектирования на газоразрядных или сцинтилляционных счетчиках [3, 4]. При необходимости РКС оборудуются весами, а в последние годы приставками для записи данных анализа на магнитную ленту или перфораторами и теле-тайпными аппаратами для передачи данных на ЭВМ в целях последующей обработки.

Погрешность гамма-анализа зависит от неравномерности распределения урана в руде, размера измеряемой порции, состояния радиоактивного равновесия, радионуклидного излучения из руд, метеорологических условий и других факторов и может достигать по отдельным анализам $\pm(20 \div 30)\%$. Однако погрешность анализа партии руды не превышает $\pm(5 \div 6)\%$ и находится в пределах технических условий для химических анализов урановых руд [3] (табл. 2).

При отсутствии на руднике забойной сортировки ее функцию выполняет РКС, через которую, как правило, проходит вся горнорудная масса. Объем хвостов, которые отсортировываются в этом случае на РКС, составляет от 0 до 34% (см табл.1).

Таким образом, использование в технологическом цикле горноэксплуатационных работ радиометрических методов и применение различных типов электронной аппаратуры обеспечивает существенное первичное обогащение урановых руд как в процессе ведения буровзрывных работ, так и при транспортировке руды.

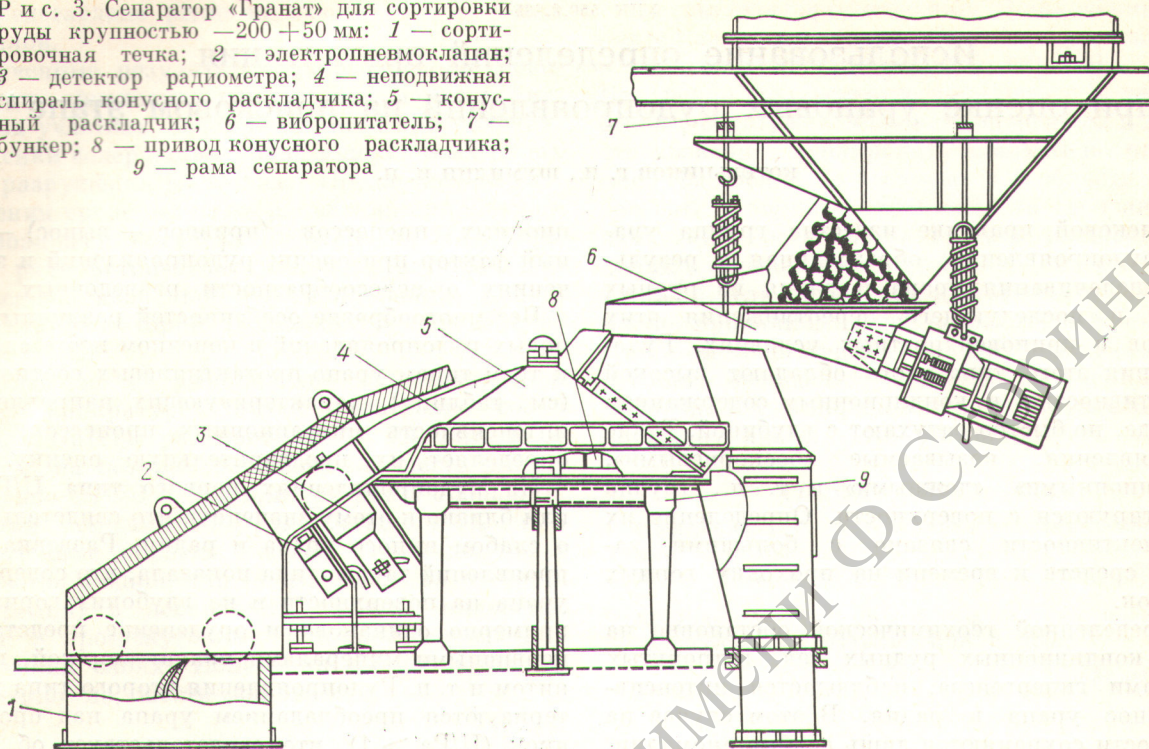
Последняя перед химической переработкой и более тщательная сортировка или радиометрическая сепарация (обогащение) выделенной на РКС фабричной руды осуществляется на радиометрических обогатительных фабриках (РОФ) [2]. Радиометрическая сепарация основана на использовании того же свойства урановых руд, что и гамма-опробование и каротаж скважин, призабойная сортировка и экспресс-анализ руд в емкостях. Радиометрическая сепарация примерно для половины типов урановых руд является не только

Таблица 2

Результаты контрольного опробования руд различных типов

Тип руды	Число измеренных емкостей	Относительная погрешность анализа, %			
		всей партии руды	средняя единичного анализа	максимальная единичного анализа	
I	59	-0,7	$\pm 31,0$	+90,0	-36,0
II	50	+1,4	$\pm 23,0$	+72,0	-31,4
III	137	0,0	$\pm 6,9$	+22,5	-26,6
IV	85	-5,1	$\pm 6,9$	+43,3	-66,7
V	42	-6,0	$\pm 22,7$	+38,5	-62,3
VI	18	+5,8	$\pm 22,4$	+91,3	-36,9
VII	25	+1,2	$\pm 24,0$	+36,0	-43,8
VIII	7	-1,8	$\pm 18,1$	+56,2	-43,4

Р и с. 3. Сепаратор «Гранат» для сортировки руды крупностью $-200 + 50$ мм: 1 — сортировочная течка; 2 — электропневмоклапан; 3 — детектор радиометра; 4 — неподвижная спираль конусного раскладчика; 5 — конусный раскладчик; 6 — вибропитатель; 7 — бункер; 8 — привод конусного раскладчика; 9 — рама сепаратора



понента в кусках и выдачи команды исполнительному механизму;

исполнительный механизм (пневмоклапан или шиберное устройство) для механического разделения кусков на продукты сортировки;

сортировочная течка для сбора продуктов сортировки и передачи их на соответствующие конвейеры.

Производительность сепараторов колеблется от 40 до 100 т/ч для класса крупностью $-200 + 50$ мм, 10–15 т/ч для класса $-50 + 25$ мм и 4–5 т/ч для класса крупностью $-25 + 15$ мм.

Действующие в настоящее время РОФ выводят в отвал от 25 до 43% хвостов исходной руды или от 50 до 80% сортируемого класса, выход которого для различных типов руд колеблется от 45,0 до 64,5%. Содержание урана в хвостах радиометрической сепарации составляет 0,010–0,015%. При этом коэффициент обогащения конечного продукта, направляемого на химическую переработку, равен 1,25–1,64.

Таким образом, используемые технологические приемы повышения качества добываемых урано-

вых руд путем широкого внедрения радиометрических методов и приборов в процессе добычи и первичной переработки этих руд позволяют повысить содержание урана в товарной руде, направляемой на химическую переработку, и за счет этого значительно снизить стоимость сырья для получения ядерного топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков А. И. и др. Докл. на Междунар. конф. МАГАТЭ по ядерной энергетике и ее топливному циклу. Зальцбург, 2–13 мая 1977. IAEA-CN-36/321.
2. Мокроусов В. А. и др. Теоретические основы радиометрического обогащения радиоактивных руд. М., «Недра», 1968.
3. Посик Л. Н. и др. Радиометрический экспресс-анализ добытых руд. М., Атомиздат, 1960.
4. Пруткин М. И., Шашкин В. Л. Справочник по радиометрической разведке и радиометрическому анализу. М., Атомиздат, 1975.
5. Тененбаум И. М. Основы рудничной радиометрии. М., Госатомиздат, 1961.
6. Шашкин В. Л. Опробование радиоактивных руд по гамма-излучению. М., Атомиздат, 1972.

Поступила в Редакцию 07.12.79