

Исследованные реагенты выпускаются промышленностью и характеризуются относительно невысокой стоимостью.

Полученные результаты представляют прак-

тический интерес, поскольку позволяют наряду с модернизацией дисковых вакуум-фильтров дополнительно снизить влажность отфильтрованного осадка.

УДК 624.127.8; 658.382

Мельников И.Т., Кутлубаев И.М., Немчинова А.В., Суров А.И., Косарев А.В., Шелковникова А.А., Котик М.В.

## КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА МАГНЕЗИТОСОДЕРЖАЩИХ ХВОСТОВ ДОФ ОАО «КОМБИНАТ МАГНЕЗИТ» С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕНТГЕНРАДИОМЕТРИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА СРФ 4-150

В настоящее время хвосты обогащения магнетита в тяжелых средах дробильно-обогащительной фабрики (ДОФ) ОАО «Комбинат МАГНЕЗИТ» фракции 0–150 мм в объеме более 25,0 тыс.т/мес используются в качестве закладочного материала при разработке месторождений полезных ископаемых (МПИ) подземным способом или складироваться в отвалы. Хвосты тяжело-средней сепарации ДОФ ОАО «Комбинат МАГНЕЗИТ» (далее по тексту – хвосты) представлены механической смесью магнетита ( $MgCO_3$ ) и вмещающими породами, в основном доломитами ( $CaMgCO_3$ ). В составе магнетита присутствуют примеси  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ . Однако в этих хвостах содержится до 30% магнезиальной массы марки ММИ (Магнезиальная Масса, пригодная после обжига для производства Изделий), выделить которую традиционными способами проблематично.

Такая возможность появилась с разработкой и совершенствованием **рентгенорадиометрической сепарации (РРС)**, которая относится к новым высокоэффективным, экологически чистым и низкозатратным технологиям обогащения некондиционного сырья. Появление и необходимость этой технологии обусловлены многими объективными факторами. Для горнорудной промышленности всего мира характерны общие беды. Богатые месторождения практически отработаны, а перерабатывать бедные, забалансовые, некондиционные руды и многочисленные отвалы этих руд убыточно из-за высокой себестоимости применения традиционных технологий. Кроме того, все меньше остается легкообогатимых руд, все чаще приходится переходить на комплексные труднообогатимые и упорные руды, для которых актуально не только удаление породы, но и возникает необходимость

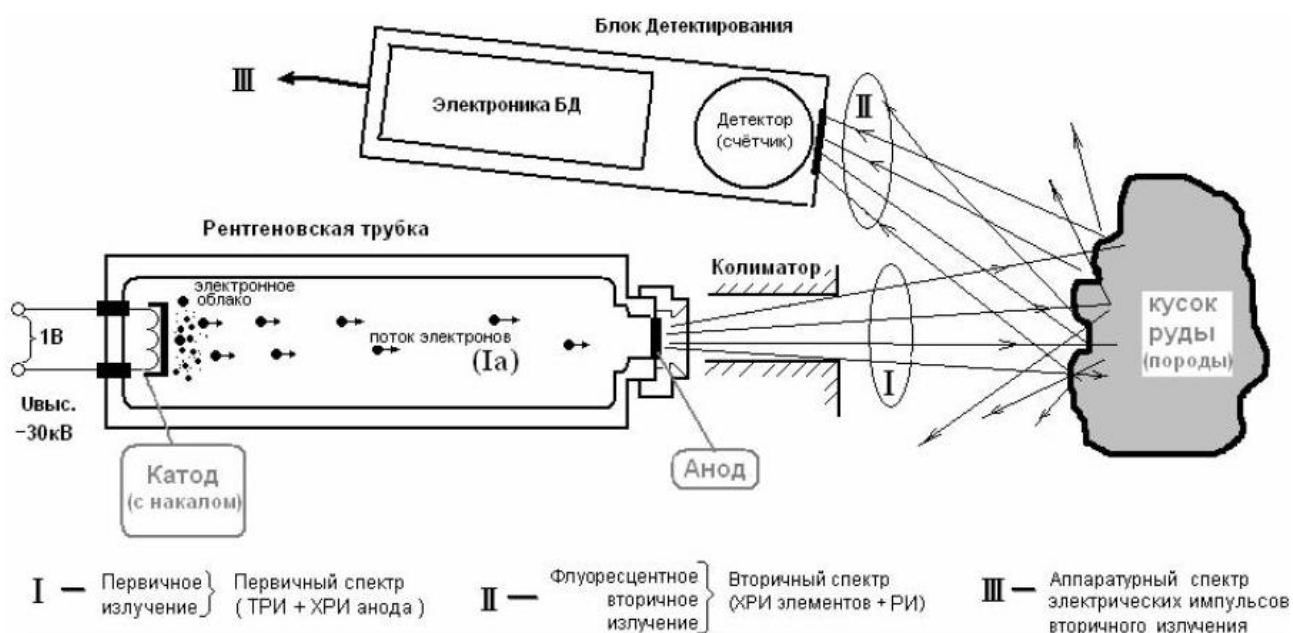


Рис. 1. Принцип действия рентгенорадиометрического сепаратора

разделения на технологические типы и сорта.

Практически во всех горнодобывающих странах мира с давних времен и до сегодняшнего дня применяется ручная рудоразборка (сортировка) крупнокускового материала как одна из «вынужденных» мер. Но этот рабский, низкоэффективный и малопроизводительный труд представляет, безусловно, тупиковый путь развития. К тому же, визуальная сортировка далеко не всегда возможна при слабом или полном отсутствии различий цветовых признаков руды и породы. Решать поставленные задачи способна только автоматическая, высокоэффективная и производительная покусковая сепарация, основанная на современных достижениях физики и техники.

В России и других развитых странах мира в течение последних 50 лет занимались разработкой методов радиометрической сепарации, включающих использование всевозможных видов излучения для распознавания ценных компонентов в кусках полезных ископаемых (естественная радиоактивность, световое, рентгеновское, ядерное, электромагнитное излучение различных диапазонов).

В урановой и алмазной промышленности эта технология уже давно стала базовой. Для этого применялись и применяются сотни радиометрических сепараторов, работающих по естественной радиоактивности и рентгенолюминесценции полезных минералов.

Принцип действия рентгенорадиометрического сепаратора показан на рис. 1 и состоит в следующем. Первичное (возбуждающее) рентгеновское излучение от рентгеновского излучателя ПРАМ-50 представляет собой спектр от минимальных энергий рентгеновских квантов до максимальных, соответствующих величине анодного напряжения рентгеновской трубки (РТ), и формируется анодным напряжением и током рентгеновской трубки типа БХ-10 (с молибденовым анодом), а также фильтрами-ослабителями (алюминиевая фольга).

В совокупности вторичный аппаратурный

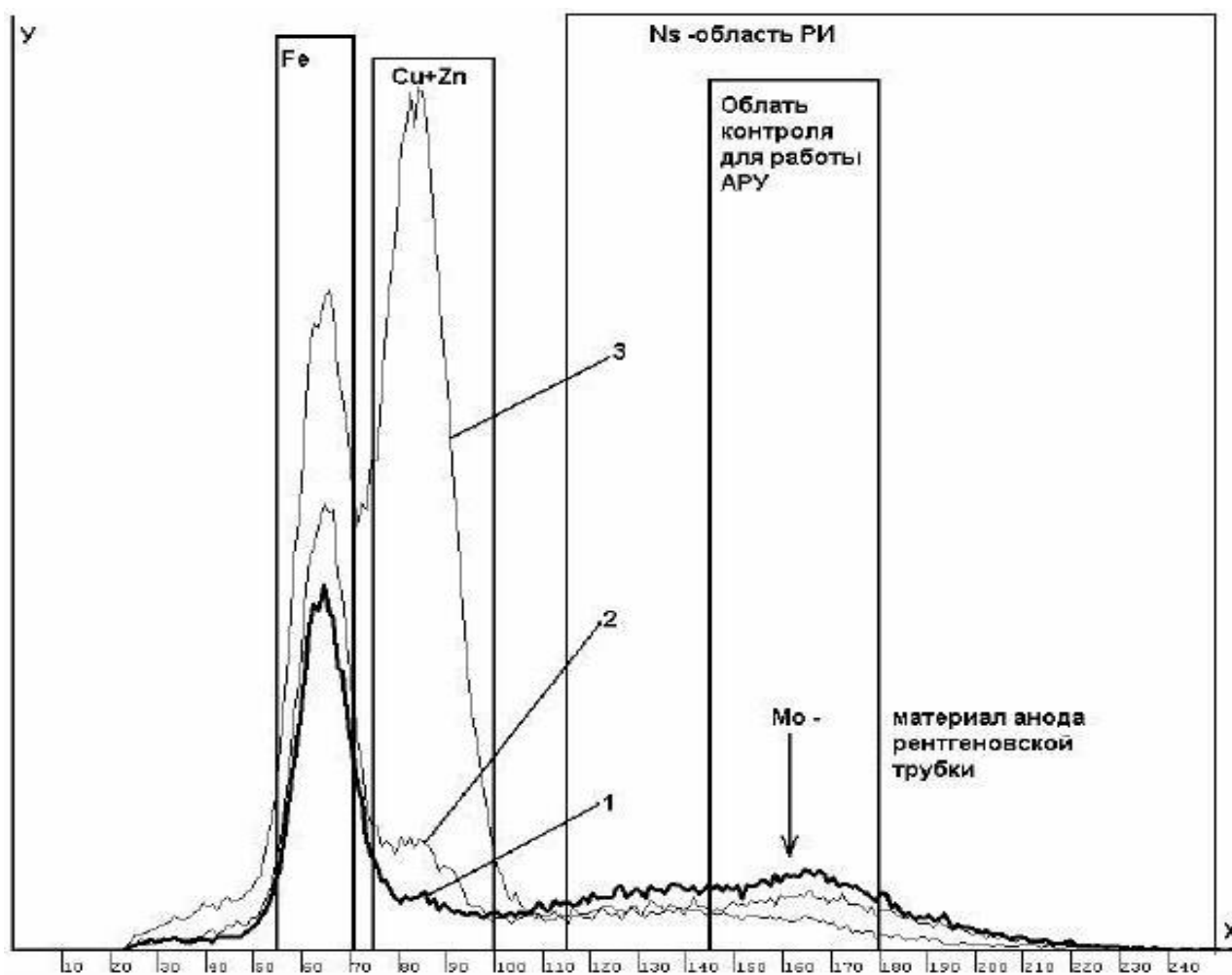


Рис. 2. Характер аппаратурного спектра железной и медно-цинковой руды:  
1, 2, 3 – содержание Cu соответственно 0,5; 1,0; 5,0%

(регистрируемый блоками детектирования) спектр излучения от кусков при их облучении первичным рентгеновским излучением состоит из характеристического рентгеновского флуоресцентного излучения элементов и рассеянного излучения (т.е. части первичного излучения рассеянного или отраженного куском). Характер получаемого сигнала железной и медноцинковой руды показаны на **рис. 2**.

Основные конструктивные элементы рентгенорадиометрических (рентгенофлуоресцентных) сепараторов показаны на **рис. 3**. Засыпанная в приемный бункер руда вытягивается из бункера через затвор вибропитателем, работающим под воздействием возбудителя вибрации электромагнитного типа. Далее руда поступает на второй элемент вибротранспортной системы – раскладчик, вибрация в котором возбуждается под воздействием двух инерционных вибраторов (ИВ-107).

Под воздействием вибрации и за счет специальной конструкции лотковых желобов раскладчика поток руды во время движения по лоткам распределяется из монослоя в одноручейные потоки, обеспечивающие последовательный сход (падение) кусков руды с лотков в зону измерения рентгеновского блока БРС.

Сепаратор реализует рентгенорадиометрический метод определения вещественного состава кусков исходной руды крупностью более 30 мм на основе анализа флуоресцентного излучения элементов, входящих в состав сепарируемой руды. При облучении любого вещества происходит переход электронов с первой (ближней к ядру) электронной оболочки (линии К – серия) или со второй оболочки (линии L – серия) на более высокий энергетический уровень. При возвращении электронов в исходное положение возникает флуоресцентное излучение элементов – это их характеристическое (вторичное) рентгеновское излучение.

В зоне распознавания каждый кусок руды облучается первичным рентгеновским излучением I, испускаемым рентгеновской трубкой. В поверхностном слое кусков происходит возбуждение вторичного характеристического рентгеновского излучения II, которое регистрируется блоками детектирования ДЭУ. Аппаратурный спектр анализируется измерительно-управляющей системой

сепаратора (ИУС), расположенной в блоке БРС.

В результате анализа по заданному алгоритму (разделительному признаку) для каждого куска определяется аналитический параметр, который отражает уровень содержания определяемых химических элементов относительно некоторого, также задаваемого, порогового содержания. Фактически для каждого куска производится распознавание его рентгеновского образа в реальном масштабе времени.

При превышении (или принижении) этого порога ИУС формирует управляющий сигнал для срабатывания исполнительного механизма. Сигнал управления срабатывания исполнительного механизма задерживается на время, необходимое для пролета куска руды от зоны измерения до зоны отбора. При этом длительность управляющего сигнала пропорциональна линейному размеру отбираемого куска.

При срабатывании исполнительного механизма кусок за счет ударного воздействия отбойника отклоняется от естественной траектории падения и направляется в дальнюю течку продуктов сортировки и далее на конвейер отбираемого продукта (обогащенной или бедной руды, в зависимости от установленной логики отбора). Не подвергшиеся воздействию отбойника куски руды проходят в свою приемную течку без отклонения траектории и выводятся из-под сепаратора другим конвейером.

Исполнительные механизмы, в зависимости от установленной логики отбора в ИУС, могут работать в 2-х режимах: отбор рудных кусков или отбор вмещающих пород.

Для сортировки, в основном, используется

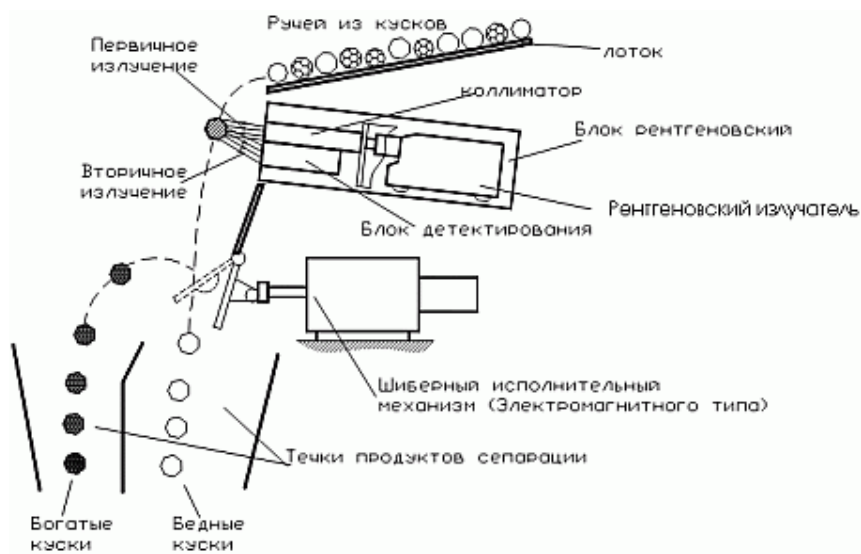


Рис. 3. Основные конструктивные элементы рентгенорадиометрических (рентгенофлуоресцентных) сепараторов

крупнокусовой материал (класс +20 мм), так как при меньшей крупности резко падает производительность сепараторов. Но для особо ценных руд и материалов нижняя граница машинных классов для сортировки может быть снижена до +(3–5) мм.

Первые **опытные** образцы рентгенометрических сепараторов, успешно прошедшие испытания на многих месторождениях России, Казахстана, Узбекистана и Киргизии, были созданы за последние 20 лет усилиями НПО “Сибцветметавтоматика” (г. Красноярск), Иркутского филиала Киевского института автоматики (впоследствии НПО “Иркутскпромавтоматика”), НПО “Алмаззолотоавтоматика” (г. Красноярск).

Первые **промышленные** образцы рентгенометрических сепараторов начало выпускать предприятие “РАДОС” с 1995 г. (ТУ 3132-015-05820239-96). Постоянное совершенствование этих образцов позволило приступить с 2000 г. к производству и внедрению нового поколения рентгенометрических сепараторов (ТУ 3132-015-05820239-2001), предназначенных для покусковой сортировки машинных классов в диапазоне крупности от 5 до 300 мм. При этом выпускаются такие модификации передвижных сепараторов, которые могут успешно использоваться геологами.

На сегодняшний день ООО «РАДОС» совместно с ООО «ТЕХНОРОС» выпускает основные типы промышленного технологического оборудования, представленные в **табл. 1**.

Блок управления сепаратора может определять («видит») элементы начиная с 20 Периодической таблицы Менделеева, т.е. сепаратор не в состоянии определить Mg, Al, Si и другие лёгкие элементы. Исследования, проведенные ООО «ТЕХНОГЕН», г. Екатеринбург, позволили разработать технологию и выявили корреляционные зависимости по

неопределяемым элементам и, в частности, по распознаванию Mg в отходах обогатительного производства ОАО «Комбинат МАГНЕЗИТ». Для обогащения хвостов за основу принят способ выделения магнетита при помощи рентгенометрического сепаратора СРФ 4-150 (сепаратор рентгенометрический, флуоресцентный, четырехручьевого, размер сепарируемого материала 40–150 мм). Исходя из количественно-качественных характеристик магнетитовых хвостов и результатов опытно-промышленных испытаний, был приобретён сепаратор СРФ 4-150, внешний вид которого показан на **рис. 4**, а основные технические характеристики приведены в **табл. 2**.

По функциональному назначению Сепаратор состоит из следующих структурных единиц:

- измерительно-управляющая система (ИУС);
- устройство подачи руды (УПР);
- механизмы исполнительные (МИ);
- приемник продуктов сепарации (ПП).

Тестовые и технологические испытания обогащения хвостов после переработки магнетита с Карагайского карьера и подземного рудника показали, что данным методом возможно получение магнетиального концентрата марки ММИ с содержанием вредных примесей, удовлетворяющих требованиям Технологической Инструкции ОАО «Комбинат МАГНЕЗИТ» ( $SiO_2 < 0,9\%$ ;  $CaO < 2,1\%$ ) и **содержанием  $MgO > 65\%$** .

С целью реализации общенациональной программы рационального использования природных ресурсов в состав опытно-промышленной технологической линии (ОПТЛ) входит рудоподготовительный комплекс, рентгенометрические (рентгенофлуоресцентные) сепараторы и дробильно-сортировочный комплекс по производству щебня фракций 0–5 и 5–20 мм. Такая технологическая линия по переработке хвостов

**Таблица 1**

**Основные типы рентгенометрические (рентгенофлуоресцентные) сепараторов, выпускаемые отечественной промышленностью**

№	Наименование	Краткая характеристика
1	СРФ2-300, СРФ3-300	Рентгенометрические (рентгенофлуоресцентные) сепараторы в 2-, 3-, 4- и 6- ручье-вом исполнении, работающие в диапазонах крупности кусков от 5 до 300 мм с одноряд-ным или двухрядным расположением исполнительных механизмов. Производительность зависит от технологической задачи, качества и гранулометрического состава материала, класса крупности и составляет от 5 до 50 т/ч для крупнокусового материала более 20–30 мм. Диапазон классов крупности выбирается с учетом конкрет-ных задач и технологических свойств сортируемого материала
2	СРФ4-150/1, СРФ6-150/2	
3	СРФ4-50/1, СРФ6-50/2	
4	СРФ2-30, СРФ4-30, СРФ6-30	
5	СРФ4-ЗП-150 (трехпродуктовый)	
6	РКС-А (К)	Рудоконтролирующая станция – автоматизированная для контроля и опробования руд на конвейерах. Рудоконтролирующая станция – автоматизированная для контроля и опробования руд в транспортных емкостях (самосвалы, вагонетки)
7	РКС-А (Т)	
8	(2 модификации)	



обогащения позволяет снизить экологическую нагрузку на окружающую среду и получить дополнительную прибыль. Стоимость рентгенометрического (рентгенофлуоресцентного) сепаратора СРФ 4-150 составляет 5,0 млн руб., рудоподготовительного комплекса, включающего дробилку, грохота и конвейерные линии, – 26 млн руб. Годовая производительность комплекса с одним сепаратором составляет по исходной руде – 120 тыс. т, по концентрату марки ММИ – 45 тыс. т, по щебню – 75 тыс. т. При этом следует отметить, что один рудоподготовительный комплекс может обслуживать одновременно три сепаратора. Срок окупаемости оборудования 2,5 года. При вводе в работу трёх сепараторов на один рудоподготовительный комплекс срок окупаемости составит около двух лет. Для этого необходимо провести дополнительные испытания по обогащению хвостов, получаемых после переработки



Рис. 4. Внешний вид рентгенометрического (рентгенофлуоресцентного) сепаратора СРФ 4-150

магнетита с Волчегорского карьера.

Как показали многочисленные исследования и испытания различного масштаба, проведенные

Таблица 2

Основные технические данные рентгенометрического сепаратора серии СРФ 4-150

Технические данные	Норма по ТУ
Класс крупности сортируемой руды, мм	-150+40 (20)
Максимальная производительность (при плотности руды 2,7 т/м <sup>3</sup> ), т/ч	(8...20)
Количество каналов сортировки, шт.	4
Напряжение электропитания при частоте переменного тока 50±1 Гц, В: – измерительно-управляющей системы – электроприводов	220 <sup>+22</sup> <sub>-33</sub> 380 <sup>+38</sup> <sub>-57</sub>
Потребляемая мощность, кВт, не более	5,0
Габаритные размеры, мм: 1) машины сортировочной (длина × ширина × высота) 2) поста управления (ширина × глубина × высота) 3) пульта оператора (ширина × глубина × высота)	4730×1500×3150 640×350×1000 600×830×1300
Масса, кг, не более: 1) машины сортировочной 2) поста управления 3) пульта оператора	3950 60 80

Примечание:

1. Максимальная производительность зависит от:

- класса крупности и удельной плотности сортируемой руды (материала);
- качества исходной руды (материала), поступающей на РРС;
- технологических требований к продукту и «хвостам» сепарации.

2. Оптимальная величина производительности определяется по результатам технологических испытаний РРС с учетом условий п. 1.

3. Диапазон класса крупности сортируемой руды (материала) допускается изменять в зависимости от технологических задач, при этом норма по производительности соответственно корректируется.

коллективами многих институтов и организаций в бывшем СССР (Иргиредмет, ВИМС, ВНИИХТ, Механобр, ЦНИИолово, ВНИИ-1, НПО “Сибцветметавтоматика”, НПО “Алмаззолотоавтоматика”), а также в последние годы ООО “РАДОС” и ООО «ТЕХНОРОС» (г. Красноярск), именно РРС из всех радиометрических методов обогащения оказалась наиболее высокоэффективной, самой «сухой» и применимой для самых разнообразных полезных ископаемых: руды цветных и редких металлов, золото и серебро, платиноиды, редкоземельные элементы, полиметаллы, олово, уран, вольфрам, марганец, хром, бокситы, кварциты, магнезиты, флюориты, нефелины, силиманиты, апатиты, уголь, отходы металлургических производств (мартеновские и доменные шлаки, футеровка). И это далеко не полный перечень возможностей РРС.

Для повышения качества перерабатываемых руд и расширения сырьевой базы предприятия вынуждены привлекать и осваивать новые, более

богатые малые месторождения и рудопроявления, зачастую значительно удаленные от обогатительной фабрики, забывая при этом про свои собственные запасы и накопленные отвалы бедных и забалансовых руд, рациональное использование которых во многом может решить сырьевую проблему, в большинстве случаев социальную. В решении этих задач главный технологический и экономический резерв лежит на пути исключения бессмысленных перевозок и переработки вмещающих пород.

Из экономических, экологических и социальных соображений в технологическую цепочку горно-обогатительных комбинатов необходимо вводить процесс **рудоподготовки**, который включает **предварительное обогащение и распределение руд по сортам с применением технологии РРС**. Это должно стать *азбукой*, стратегической линией общей технологии добычи и переработки полезных ископаемых и различных видов техногенного сырья.

#### Библиографический список

1. Татарников А.П. Ядерно-физические методы обогащения полезных ископаемых. М: Атомиздат, 1974. 144 с.
2. Мокроусов В.А., Лилеев В.А. Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд. М.: Наука, 1979. 192 с.
3. Федоров Ю.О., Развозжаев Ю.И., Картунов А.А. К вопросу разработки рентгенорадиометрических сепараторов // Новые процессы обогащения руд. Л., 1981. С. 62–67.
4. Федоров Ю.О., Цой В.П., Корнев О.В. Возможности радиометрического обогащения и опробования полезных ископаемых // Цветные металлы. 1995. № 8. С. 76–79.
5. Федоров Ю.О. и др. Рудосортировочные комплексы (РСК) – эффективное средство для реализации технологии предварительного обогащения бедных и забалансовых руд // Состояние и развитие открытой добычи полезных ископаемых в рыночной экономике: Сб. докл. междунар. конференции. Варна, Болгария, 1998. С. 306–314.
6. Федоров Ю.О., Цой В.П., Корнев О.В., Короткевич В.А., Кацер И.У. Предварительная концентрация при обогащении бедных и забалансовых руд // Горный журнал. 1998. № 1. С. 26–29.
7. Федоров Ю.О. и др. Рентгенорадиометрическая сепарация для обогащения различных полезных ископаемых // Открытые рудники и карьеры в XXI веке. Несебыр, Болгария, 2001.