

УДК 622.7:553

В.В. Кармазин, С.Г. Пак, Д.С. Маслов

**МАГНИТНОЕ ОБОГАЩЕНИЕ ОКИСЛЕННЫХ
ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ МИХАЙЛОВСКОГО
ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Проведен анализ аппаратов и технологий, применяемых для обогащения окисленных железистых кварцитов Михайловского месторождения. Приведены лабораторные исследования с применением высокоградиентной магнитной сепарации с шариковой высокоградиентной средой. Предложен новый шариковый высокоградиентный магнитный сепаратор с постоянными магнитами на основе Ne-Fe-B. Предложена технология обогащения окисленных железистых кварцитов.

Ключевые слова: окисленные железистые кварциты, гематит, высокоградиентная магнитная сепарация, высокоградиентная среда, матрица, магнитное поле.

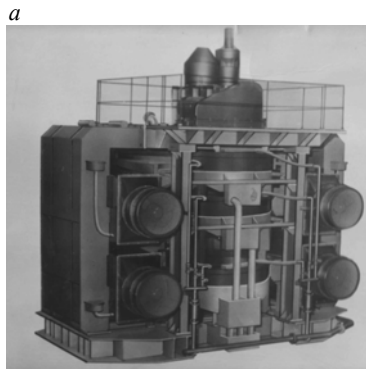
Проблема обогащения окисленных железных руд крупнейшего в Евразии Михайловского месторождения связана с необходимостью полного его использования за счет удвоения сквозного извлечения железа в концентрат всегда была, есть и останется экономически и экологически актуальной. Сегодня она требует безотлагательного практического решения. Она актуальна также и для многих других месторождений России, Украины и других стран, где имеются окисленные кварциты.

В тоже время, эта проблема уже давно решена на промышленном уровне методом высокоградиентной магнитной сепарации (ВГМС) в Бразилии, Китае, США и других странах. Нет научно-технических преград для ее решения, кроме проблемы выбора оптимального технико-экономического варианта и финансирования строительства фабрики обогащения окисленных железных кварцитов. Более того, на МГОКе уже давно имеется значительный положительный промышленный опыт магнитного обога-

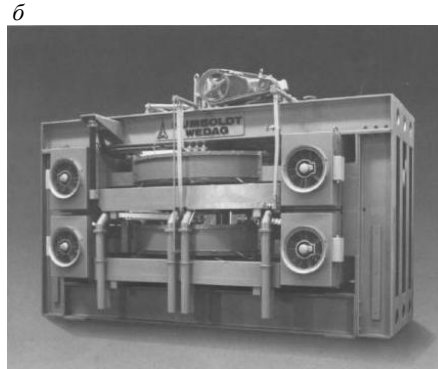
щения окисленных железных руд на сепараторах ДР-317 (Германия, фирма «Гумбольдт-Ведаг»), установленных на секции ДОФ № 9. Эти промышленные испытания проводились с мая 1981 г. по ноябрь 1982 г [3].

Одним из перспективных вариантов обогащения окисленных руд является процесс селективной флокуляции с помощью специальных реагентов, использующих физико-химическое сродство оксидов Fe_2O_3 и Fe_3O_4 , которое позволяют закрепляться частицам гематита на магнетите. В результате на обычных сепараторах типа ПБМ гематит выделяется вместе с магнетитом в магнитный продукт. Этот процесс был успешно проверен в лабораторных условиях и испытан на фабрике «Тилден» (США).

На первой стадии промышленных испытаний на МГОКе из окисленных кварцитов, содержащих 40,3 % железа и 8,1 % железа магнетитового, магнитной сепарацией в слабом поле получен магнетитовый концентрат, содержащий 65,7 % железа, при выходе 17,6 %. Далее, после двух стадий



а
Высокоградиентный сепаратор
"SLoп" (Китай)



б
Высокоградиентный сепаратор
"VMS" (Чехия)

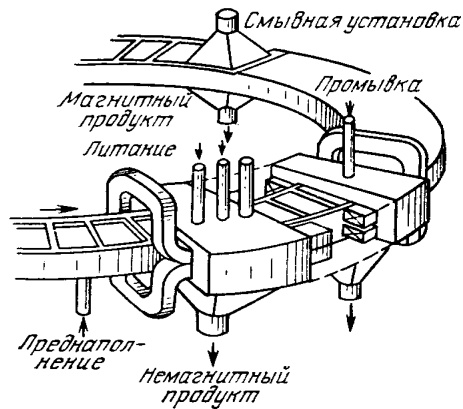
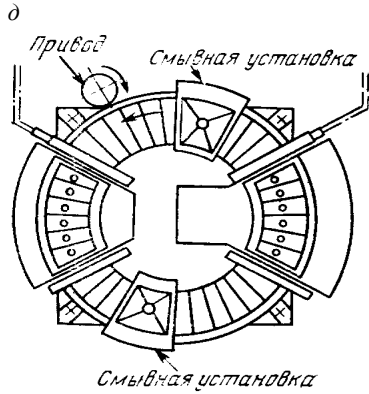
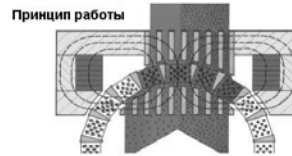
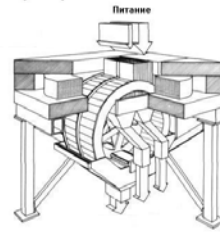


Рис. 1. Высокоградиентные магнитные сепараторы: а — высокоградиентный электромагнитный сепаратор 6ЭРМ-35/315 («Магнис ЛПД», Украина); б — высокоинтенсивный магнитный сепаратор для мокрого обогащения «Jones» DP-317 (фирма KND, ФРГ) и его уменьшенная копия сепаратор ShP-2000 (ЧГМНИИ, Китай); в — высокоинтенсивный сепаратор с вертикальным ротором «SLoп» (Китай); г — высокоинтенсивный сепаратор с вертикальным ротором (Чехия); д — сепаратор типа «Карусель» фирмы «Сала»

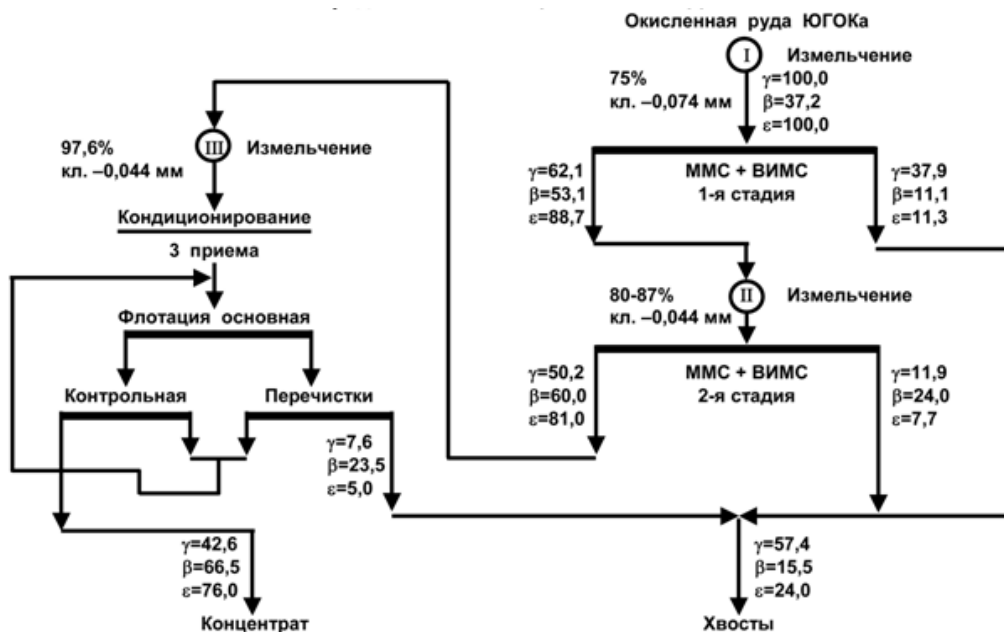


Рис.2. Магнитно-флотационная технология обогащения на КГОКОРе окисленной руды с использованием технологии магнитного обогащения, предложенной НТЦ «Магнис ЛТД»

обогащения слабомагнитного, гематитового продукта (хвосты первой стадии) на сепараторах ДР-317 содержание железа в суммарном концентрате достигало 57—59,0 % в зависимости от крупности измельчения, при извлечении более 70 %.

При обогащении по магнитной схеме с использованием сепаратора типа «Карусель» фирмы «Сала» содержание железа в концентрате может быть увеличено до 60 % при извлечении 75 %. В оптимальном режиме был получен концентрат с содержанием железа 61,9 % при извлечении 80,3 % [3].

Для магнитного обогащения окисленных железных руд в СССР и за рубежом разработан ряд высокоградиентных магнитных сепараторов с высокой напряженностью магнитного поля возбуждения. За рубежом сепараторы

с сильным магнитным полем созданы в США, Германии, Англии, Швеции, Чехии Китае и др. Принцип действия этих сепараторов основан на использовании в рабочей зоне большого числа полюсных центров с высоким трехмерным градиентом напряженности магнитного поля. Отличаются эти сепараторы конструкцией магнитных систем, рабочих органов, типом ферромагнитных заполнителей (рис. 1).

Были также разработаны и успешно испытаны в промышленных условиях два типа низкотемпературных сверхпроводниковых магнитных сепараторов: с движущимися сепарационными зонами в СССР (МГИ), ФРГ («Тиссен-Круп») и постоянно включенной системой и с неподвижной сепарационной зоной, но с отключающейся магнитной системой. К сожалению, эти сепараторы при суще-

ствующими ценами на жидкий гелий убыточны [2].

На рис. 2 показаны показатели обогащения окисленной железной руды по магнитно-флотационной технологии, полученная на ГОКОРе (ГОК окисленных руд, Украина) с помощью установленных там сепараторов типа 6ЭРМ-35/315. Гематитовый концентрат обладает большей металлургической ценностью, чем магнетитовый, но современные условия требуют получения сырья для ГБЖ (горячего брикетирования железа), т. е. суперконцентратов (до 70 % Fe_{общ}), что возможно при извлечении менее 70 %.

Общим недостатком всех сепараторов ВГМС, ограничивающим их широкое внедрение, является их высокая энергоемкость, большая масса (до 200 т, что требует специальных фундаментов и перекрытий) и, как следствие – высокая стоимость. В области техники перед проведением исследований, описанных в настоящей работе, нами ставилась кардинальная задача – впервые создать ВГМС на высокоэнергетичных постоянных магнитах типа Nd-Fe-B или Sm-Co. Для этой цели необходимо было подобрать высокоградиентную среду, способную эффективно работать при напряженностях поля возбуждения, доступных этим магнитам и экспериментально проверить новые конструкции и режимы, в которых они смогут работать [2].

Задачей настоящих исследований была разработка технологии обогащения окисленных кварцитов с Михайловского ГОКа и создание для этой цели экспериментального образца высокоградиентного сепаратора на постоянных магнитах, его стендовые испытания, обработка их результатов и технико-экономический анализ его технологических возможностей.

Таблица 1

Сертификат соответствия пробы окисленных кварцитов

Место отбора	ОАО «Михайловский ГОК»
Материал пробы	окисленные кварциты ГОСТ 15054-80 «Руды железные, концентраты, агломераты и окатыши»
Содержание	Fe _{общ} – 40,2 ± Δ0,40 %; Fe _{маг} – 5,2 ± Δ0,48 %
<i>Примечание.</i> Проба не токсична, не радиоактивна, не содержит драг. металлов, пожаро- и взрыво- безопасна, озонобезопасна, транспортабельна любым видом транспорта.	

В области технологии необходимо было получить общий магнетит-гематитовый концентрат, содержащий около 66 % Fe_{общ} при высоком извлечении (до 80 %), чтобы последующая флотация могла бы получить концентрат для ГБЖ за счет потери извлечения на 8–10 %. Эти результаты уже достигались даже при промышленных испытаниях аналогичной пробы на сепараторах типа 6ЭРМ-35/315 (фирма «Магнис ЛТД», Украина).

Для выполнения настоящих исследований была представлена проба окисленных железистых кварцитов с высоким содержанием магнетита, сертификат которой приведен ниже.

Испытательный стенд для магнитного обогащения окисленных железных руд должен был обеспечивать регулировку напряженности поля возбуждения в рабочем зазоре, регулировку гидромеханических параметров процесса сепарации, возможность замены высокоградиентной среды и ее эффективной регенерации. Основным элементом такого стенда является экспериментальный высокоградиентный сепаратор, который состоит

из электромагнитной скобы, сепарационной камеры сечением 60x70 мм, высотой 180 мм, помещенной в межполюсное пространство и заполненной высокоградиентной средой. Сепаратор питается постоянным током от выпрямителя ВСА-5, позволяющего регулировать питающий ток от 0 до 20 А. Каждая из катушек имеет 500 витков, что при общем их количестве 8 и токе до 15 А позволяет достигать приличной магнитодвижущей силы до – 40000 ампервитков [1].

По существу основой этого процесса является высокоградиентные магнитные осадительные поверхности — матрицы (рифленные пластины, слои шаров, стержней, сеток, проволочек, «стальной шерсти» и др.). Сравнительные испытания различных типов матриц провёл И. М. Рожков определив области их применения в специальной классификационной таблице. Обширные исследования новых типов матриц проводил проф. Кармазин В. В. с китайскими коллегами (проф. Лин Де Фу, проф. Ли и др.) в НИИ Минметпрома КНР в г. Чанша.

Высокоградиентная среда, независимо от ее типа и формы, изготавливается из материалов с высокой магнитной проницаемостью, низкой остаточной индукцией, высокой коррозионной износостойкостью. С точки зрения уровня магнитной индукции в камере (или напряженности поля возбуждения) при заданной свободной м.д.с. на полюсах, как показали многочисленные исследования, наиболее удобной формой являются шары относительная магнитная проницаемость слоя которых достигает 2-2,5. Это позволяет снизить пороговый уровень напряженности возбуждения внешнего поля сил в объеме рабочей камеры до значений достижимых в

системах с постоянными магнитами типа Nd-Fe-B или Sm-Co.

Сепараторы с контактирующей шариковой высокоградиентной средой, вследствие ее малого магнитного сопротивления работают при значительно меньшей магнитодвижущей силе на единицу объема рабочего пространства сепаратора (в 5—7 раз ниже, чем у сепараторов с бесконтактными рифлеными пластинами). Это позволяет существенно облегчить массу магнитной системы. В связи с этим масса и габаритные размеры этих сепараторов на единицу производительности заметно меньше, чем у сепараторов с бесконтактной средой. Недостатком сепараторов этого типа является усложнение их механической части — введение регенерационного грохота, клапанов, шлюзов и других элементов. Извлечение в концентрат на этих сепараторах выше, а качество концентрата ниже, чем на сепараторах с бесконтактной средой. Преимущество же сепараторов с контактной полиградиентной средой заключается в том, что попадание в них посторонних предметов и магнетита не вызывает забивания полиградиентной среды [2].

Практически из всех контактирующих полиградиентных сред наиболее удобными при механической регенерации на грохотах оказались шаровые. К тому же в процессе механической регенерации, при износе любые формы превращаются в сферические. Сепараторы ПБК-4 (рис. 3) с шариковой средой, но с электромагнитной системой в 70-е гг. успешно получали гематитовые концентраты на Оленегорском ГОКе.

Для создания такого сепаратора на постоянных магнитах нами была разработана и запатентована (ЕП №014396) конструкция, показанная на рис. 4 [1].

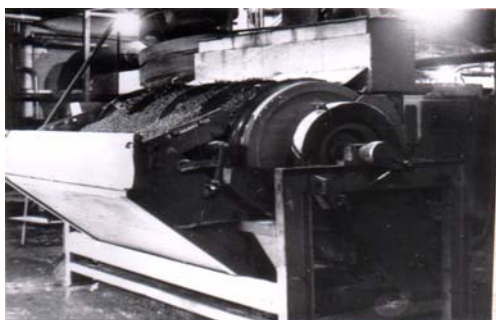


Рис. 3. Электромагнитный сепаратор ПБК-4 с шариковой средой

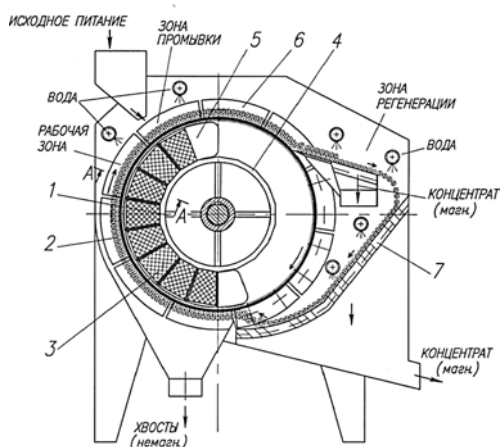


Рис. 4. Конструкция шарикового сепаратора на постоянных магнитах

В процессах обогащения полезных ископаемых главным принципом техники и технологии было и остается достижение максимальной степени раскрытия при минимальной степени измельчения. Повышение степени степени измельчения до полного раскрытия (-30 мкм) лишено практического смысла и даже вредно, так как ошламование снижает эффективность любого процесса обогащения.

В магнитной части технологии обогащения окисленных железистых кварцитов Михайловского месторождения присутствуют три важнейших

составляющих: раскрытие, выделение магнетитового концентрата в слабом магнитном поле (ММС) и получение гематитового концентрата из хвостов ММС путем ВГМС.

Как уже отмечалось в отчете по первому и второму этапу для повышения селективности раскрытия за основу подготовки пробы были приняты процессы самоизмельчения: центробежная мельница на первой стадии и рудногалечная – на второй. После первой стадии руда в крупности $-5+0$ мм направлялась в рудногалечную мельницу Ш150 мм. В качестве рудной гали использовались предварительно отсеянный класс пробы $+20$ мм (55 % по выходу). После второй стадии проба в крупности $-1+0$ мм с 60 % класса $-0,74$ мкм, выделенная на гидроциклоне, подавалась на ВГММС в барабанный сепаратор диаметром 320 мм с напряженностью более 100 кА/м (1200 Э), концентрат которого выделялся как готовый продукт, а хвосты направлялись на стадию ММС для выделения сростков, магнитный продукт направлялся на доизмельчение в рудногалечную мельницу, хвосты на экспериментальный сепаратор ЭВГМС с объемом камеры 0,8 л с шариками диаметром 10, 6, 8, 6 мм и напряженностью поля возбуждения до 8000 Э и промежуточным доизмельчением магнитного продукта после второй стадии ВГМС.

На основе стендовых технологических экспериментов с указанными ограничениями нами была рассчитана и получена качественно-количественная технологическая схема магнитного обогащения окисленных железистых кварцитов Михайловского месторождения показанная на рис. 5.

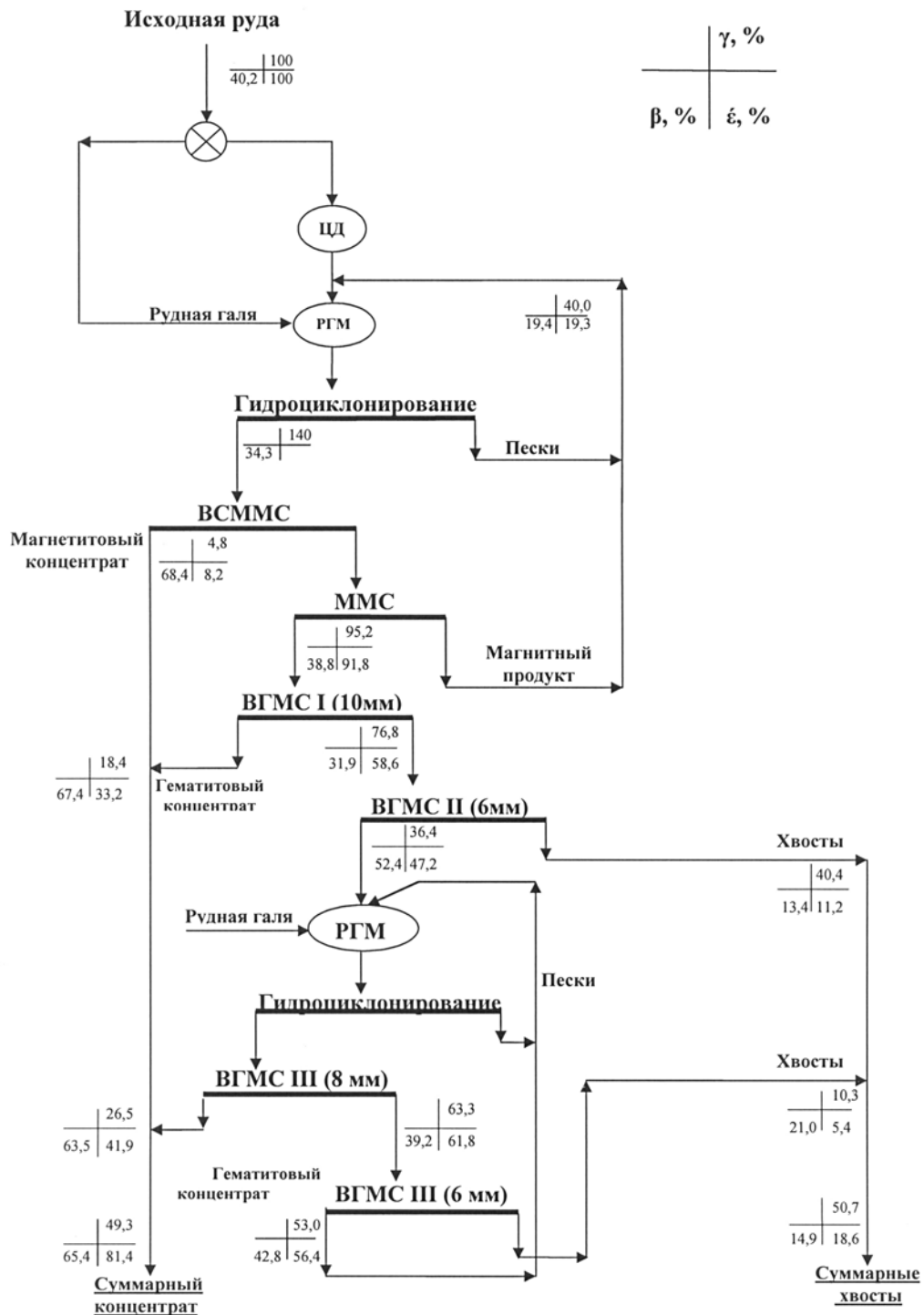


Рис. 5. Качественно-количественная технологическая схема магнитного обогащения окисленных железистых кварцитов Михайловского месторождения

В итоге, по магнитной технологии можно получить суммарный магнетит-гематитовый железорудный концентрат с общим выходом 49,3 %, со средним содержанием 65,4 % Fe_{общ} при извлечении в него 81,4 % Fe.

Выводы и рекомендации

Изложенные в настоящей работе результаты стендовых испытаний магнитного обогащения пробы окисленной руды позволяют убедиться в возможности получения товарных концентратов для доменного производства по магнитной технологии, включа-

ющей ММС и ВГМС из которых последующая флотация могла бы получить высококачественный концентрат для бездоменной металлургии за счет дополнительной потери извлечения на 10-15 %.

Более того, параметры, при которых получены эти концентраты, могут быть реализованы в сепараторе с магнитной системой на постоянных магнитах типа Nd-Fe-B, который в настоящее время создается в НТЦ «Горно-обогатительные модульные установки» при МГГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евразийский патент № EA014396 «Барабанный шариковый магнитный сепаратор» от 29.10.2010 г. Авторы: Кармазин Виктор Витальевич, Тагунов Петр Евгеньевич, Измаков Владимир Александрович. 29.10.2010 г.;

2. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. Кармазин В.В., Кармазин В.И., М.: МГГУ, 2005 г., 672 с.;

3. Новая технология обогащения окисленных железистых кварцитов Михайлов-

ского месторождения КМА. Бехтле Г.А., Мясников Н.Ф., Пономарев М.А., Кальва-синский. ОПИ-18, 1976 г., с. 39-43;

4. Karmazin V.I., Zelenov P.I., Ostapenko P.E., Karmazin V.V., Aleynikov N. A. Development of new processes for the beneficiation of magnetite-hematite ores at the Olenegorsk mining and beneficiation complex. X IMPC, London, 1973.

5. Магнитная регенерация и сепарация руд и углей. Кармазин В.И., Кармазин В.В., Бинкевич В.А., М.: «Недра», 1968 г. **УДК**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Кармазин Виктор Витальевич — доктор технических наук, профессор, Московский государственный горный университет, руководитель научно-технического центра «Горно-обогатительные модульные установки», karmazin@mail.ru,

Пак Сергей Григорьевич — аспирант, sergei.pack@mail.ru,

Малов Д.С. — аспирант,

Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru

