

доказало работоспособность и эффективность полученных научных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галагер, Р. Метод конечных элементов. Основы : пер. с англ. / Р. Галагер. – М. : Мир, 1984. – 428 с.
2. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич – М. : Мир, 1975. – 238 с.
3. Фадеев, А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А. Б. Фадеев. – М. : Недра, 1987. – 221 с.
4. Экспериментально-аналитический метод прогноза направлений и интенсивности газовых потоков / А. Ф. Булат, С. А. Курносов, И. Н. Слащев [и др.] // Геотехническая механика. – Днепропетровск : ИГТМ НАНУ, 2005. – Вып. 59. – С. 10-21.
5. Михайлов, А. Е. Структурная геология и геологическое картирование : 3 изд. / А. Е. Михайлов. – М. : Мир, 1973. – 267 с.
6. Булычев, Н. С. Механика подземных сооружений / Н. С. Булычев. – М.: Недра, 1982. – 270 с.
7. Справочник по инженерной геологии / под общ. ред. М. В. Чуринова. – М. : Недра, 1978. – 540 с.

УДК 622.778-913.3:622.753.1

В.В. Чельшкіна, канд. техн. наук,
О.А. Усов, канд. техн. наук
(ИГТМ НАН України)

ИСПЫТАНИЯ ПЕРВОЙ СТАДИИ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ ПРИ ПОДАЧЕ В НЕЕ ПИТАНИЕ ПЕРЕЛИВА МАГНИТНОГО ГИДРОКОНЦЕНТРАТОРА

Викладено результати вдосконалення технології збагачення залізних руд шляхом використання магнітного гідроконцентратора МГК-ПП для додаткової класифікації тонкомеленої залізорудної суспензії. Визначено позитивний вплив МГК-ПП на показники першої стадії магнітної сепарації у випадку, коли перелив МГК-ПП (вилучена з промпродукту бідна фракція, переважно зростки магнетиту з кварцем) був спрямований у живлення першої стадії магнітної сепарації. Для схеми з 2-стадійним помелом нова технологія підвищує якість концентрату на 0,5 % без зменшення продуктивності по руді

TESTING OF THE MAGNETIC SEPARATION FIRST STAGE WHEN ITS SUPPLY RECEIVES MAGNETIC HYDRO-CONCENTRATOR OVERFLOW

Here are presented the results of improvement of the iron ore dressing technology by way of magnetic hydro-concentrator MHC-MP use for additional classification of finely ground iron-ore suspension. Positive influence of MHC-MP on mineral-dressing products data of magnetic separation first stage was defined in the event, when MGK-PP overflow (it is the poor fraction, presented as attachments of magnetite to quartz, which was obtained from middling product) was delivered to the first stage supply of the magnetic separation. For two-stages milling scheme the new technology provides ore concentrate quality increase of 0,5% without reduction of ore productivity

Испытания новой техники и технологии обогащения были проведены на железных рудах ОАО «Лебединский ГОК» в рамках контрактов с ИГТМ НАН Украины. В обычной магнитной схеме с измельчением в 2 стадии на питании конечной (3-й) стадии магнитной сепарации работал магнитный гидроконцентратор МГК-ПП, который предназначен для дополнительной классификации промпродукта. Магнитные системы МГК-ПП позволяют удерживать магнети-

товые частицы разной крупности и богатые сростки в рабочей зоне, они поступают в пески и подаются на сепарацию 3-й стадии. Бедные сростки и нерудные переливом выводятся в слив аппарата, который направляют в голову процесса на доизмельчение и повторное обогащение [1]. В частности, слив подавали в питание 1-й стадии магнитной сепарации.

Целью испытаний являлось определение изменения показателей 1-й стадии магнитной сепарации вследствие подачи слива МГК-ПП.

В известных способах дополнительной классификации (на гидроциклонах или грохотах) промпродукт делят по крупности, и крупный класс направляют на доизмельчение. В отличие от них МГК-ПП делит промпродукт не столько по крупности (хотя слив и крупнее питания), сколько по вещественному составу. В частности, он выводит в слив бедные сростки, имеющие ту же крупность, что и частицы магнетита, поступающие в пески.

При испытаниях производительность секции в среднем была плановой – 282 т/ч, выход слива МГК-ПП составлял 18,8 % в операции или 8,5 % от исходного (технология самоизмельчения руды). Слив получался достаточно богатый, поскольку аппарат работал на богатом питании (пески дешламации), продукт слива получался крупнее, чем питания и песков (табл. 1). Последнее является характерной особенностью магнитно-гидравлических аппаратов разных конструкций.

Таблица 1 – Средние показатели продуктов МГК-ПП

Питание			Пески			Слив		
Q, т/ч	Fe _{общ} , %	γ _{Кл-44} , %	Q, т/ч	Fe _{общ} , %	γ _{Кл-44} , %	Q, т/ч	Fe _{общ} , %	γ _{Кл-44} , %
127	64,62	94,5	104	65,09	94,9	23	61,24	92,9

Примечание. Здесь и далее γ_{Кл-44} – ситовка – содержание классов минус 0,044 · 10⁻³ м.

Отметим два отличия аппаратов типа МГК, в том числе, МГК-ПП, от других классифицирующих аппаратов. Для дополнительных гидроциклонов (ЮГОК) и грохотов (ССГПО) содержание Fe в продуктах разделения – песках и сливе – получается очень близким. Это означает, что в выделяемых крупных классах много раскрытых рудных частиц (их возврат в схему ведет к переизмельчению), а в мелких классах, подаваемых на обогащение, много сростков. Для аппаратов типа МГК разница Fe в продуктах может достигать 50 %. Например, на питании 59 % Fe разница по Fe песков и слива (рабочее значение) – 20 %. При этом прирост в операции – разница Fe питания и песков – в среднем 1 %. Различие в вещественном составе песков и слива МГК говорит о перераспределении частиц, то есть о превалирующем выводе рудных из питания в пески, а сростков – в слив (питание богатое и нерудных мало).

Вторым отличием аппаратов МГК от известных классификаторов является то, что на богатых и тонких продуктах они дают более *высокий прирост в операции*. Это тоже следствие специфики перераспределения минеральных частиц

питания. Выведенные из промпродукта в слив сродстки подаются на 1-ю стадию сепарации и после нее – на измельчение 2-й стадии и обогащение.

Подача слива МГК-ПП на 1-ю стадию магнитной сепарации обогащает питание этой операции по содержанию железа в среднем на 2,5-3 % (рис. 1).

Отметим, что подача слива МГК-ПП на сепарацию не перегружает оборудование (сепараторы, гидроциклоны, мельницу 2-й стадии и др.) по следующим причинам. Во-первых, собственный резерв нагрузки на сепараторы 1-й стадии по проекту строительства – около 50 %. Во-вторых, избыток нагрузки всегда выводится (через аварийник пульподелителя на гидроциклоны). В-третьих, по сравнению со схемой 1-1 (2 стадии измельчения), при работе по схеме 2-1-1 (3 стадии измельчения) на гидроциклоны и мельницу 2-й стадии поступает удвоенная нагрузка (промпродукт не с одной, а с двух головных мельниц). Несмотря на это, ситовка слива гидроциклонов 2-й стадии измельчения снижается не так резко, как можно было бы ожидать – с 90-95 % (схема 1-1) до 80-85 % (схема 2-1-1). По сравнению с удвоением нагрузки на гидроциклоны слив МГК-ПП увеличивает ее очень мало, его максимум составлял 22,5 % от исх., но это – жесткий режим, когда сливом выводится примерно половина питания. Оптимальное количество слива (когда прирост в операции имеет максимум) составляет 13,5 % от исх. (30 % в опер.). Для данных испытаний задавали невысокий уровень слива (~10 % от опер.), поскольку секция работала практически без превышения нагрузки, на качество 68,0 %.

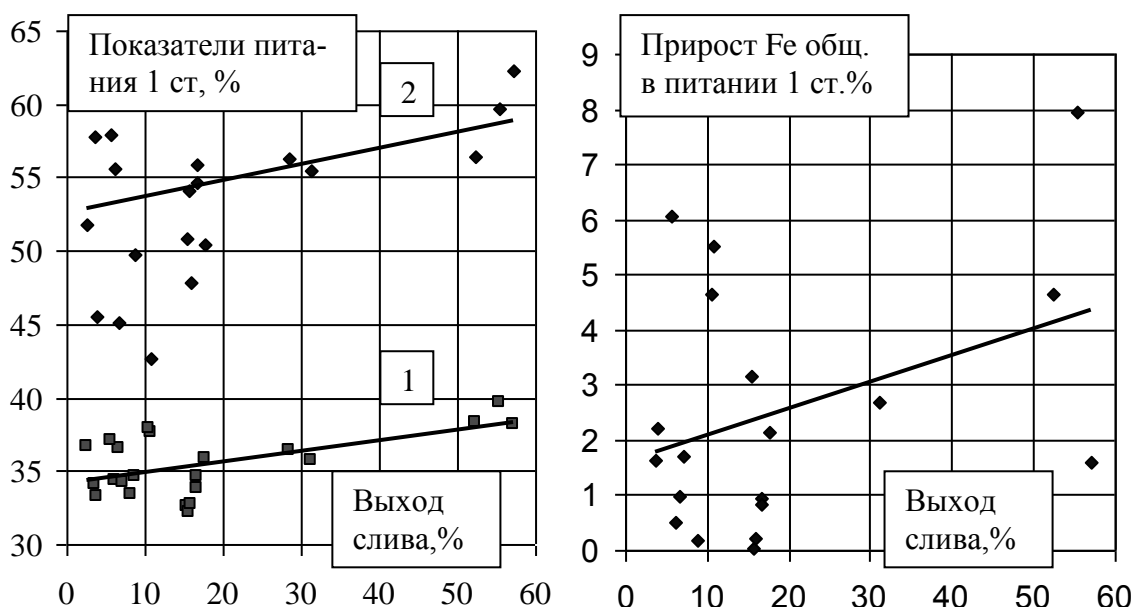


Рис. 1 – Показатели питания 1-й стадии магнитной сепарации от выхода (количества) слива МГК-ПП в операции содержание в питании сепарации: 1 – Fe общ; 2 – классов минус $44 \cdot 10^{-6}$ м.

Очевидно, что чем богаче становится питание сепарации, тем богаче получается ее концентрат (рис. 2).

Подача слива МГК-ПП в питание 1-й стадии снижает его плотность (в среднем на 100 кг/м^3), что тоже способствует повышению качества.

Содержание $Fe_{\text{общ}}$ в хвостах 1-й стадии – очень важный показатель для экономики производства. Как видно из рис. 2, на измененном питании оно остается на технологически приемлемом уровне (для схемы 1-1 около 10,5%). Выход хвостов не анализируем, хотя очевидно, что он увеличится, но расчет не надежен: слишком много допущений из-за того, что это самоизмельчение, и из-за колебаний свойств исходной руды. На содержание $Fe_{\text{общ}}$ в хвостах наибольшее влияние оказывает содержание магнитного Fe в сливе МГК-ПП, далее по значимости – ситовка, выход и содержание $Fe_{\text{общ}}$ (оценка по величине коэффициента корреляции при описании связей полиномом второй степени). Отсюда, в частности, следует, что для удержания магнетита в сливе МГК-ПП актуально совершенствование магнитной системы аппарата.

Бедные сростки из слива МГК-ПП, вообще-то, должны попадать в хвосты сепарации, что сделает их богаче, но можно указать две причины, которые одновременно делают хвосты беднее. Во-первых, слив МГК-ПП “нормализует” питание сепарации. Он разбавляет его, что улучшает разделение, и повышает в нем количество твердого, что способствует получению более чистых хвостов [2]. Во-вторых, относительно богатый по магнетиту слив МГК-ПП провоцирует захват в концентрат слабомагнитных окислов и малорудных частиц, ранее выведившихся в хвосты. В итоге за счет слива не наблюдается существенного роста Fe в хвостах (рис. 2), оно не выше обычных для схемы 1-1 значений.

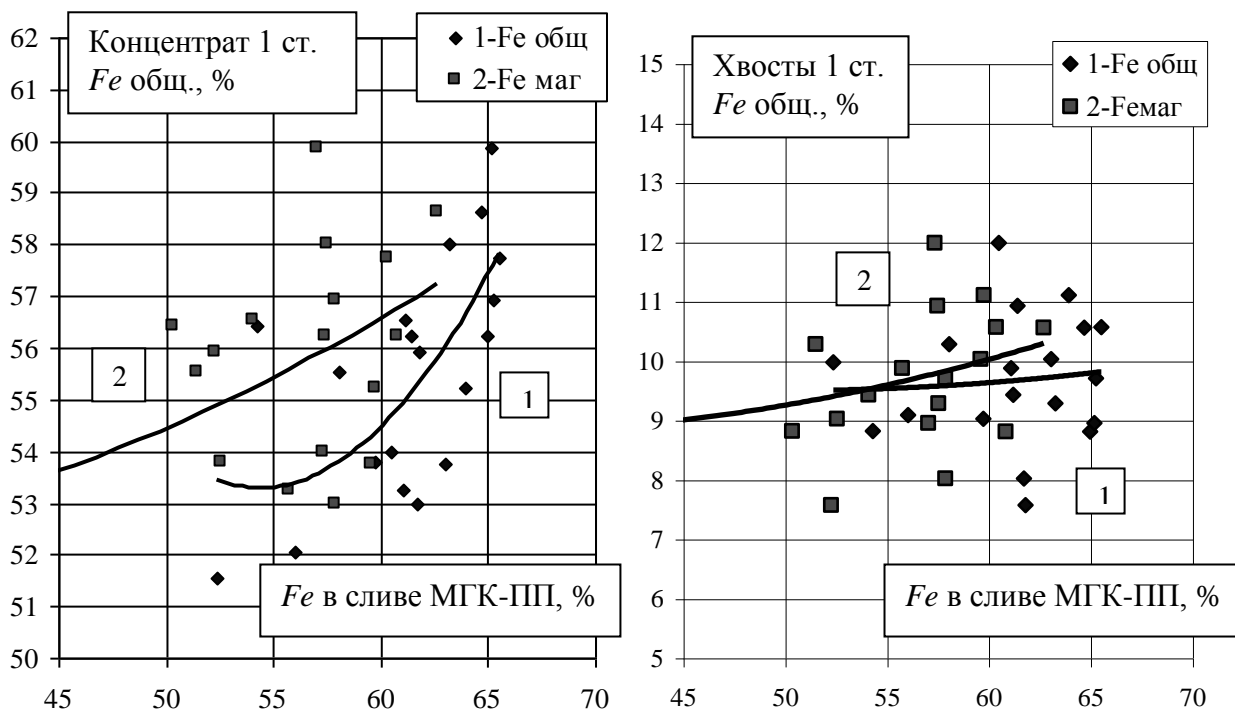


Рис. 2 – Показатели продуктов 1-й стадии м/сепарации от содержания Fe в сливе МГК-ПП
1 – Fe общее в сливе; 2 – Fe магнитное в сливе

Отметим, что, вообще-то, разбавить питание сепарации можно и богатым и бедным продуктом (например, бедным сливом МГК-ПП либо хвостами других

операций). Результат сепарации будет зависеть в первую очередь от раскрытия минералов добавленного продукта. Если в нем имеются хвосты (раскрытые нерудные), то их можно вывести. Раскрытые минералы безопасно подавать в питание. Другое дело – сrostки. Их распределение в продукты зависит как от состава (богатые-бедные), так и от крупности. Подачей сrostков можно и обогатить и обеднить питание. В нашем случае слив МГК-ПП обогатит питание, а, например, возврат хвостов 3-й стадии сепарации на обогащение обедняет питание. Такой возврат хвостов не эффективен, поскольку в составе хвостов в основном сrostки бедные. Один раз они уже были выведены сепарацией и, без доизмельчения, будут выведены повторно, а при попадании в концентрат снизят его качество. Практика подтверждает, что лучше обогатить, чем обеднить питание сепарации (и любой другой операции) – меньше риск потерять качество промпродукта и, в итоге, концентрата.

Отметим, что в схеме можно организовать любой цикл циркуляции сrostков, и бедных и богатых, но в этом цикле обязательно должно быть задействовано измельчение, иначе со временем накапливается объем циркуляции и качество концентрата снижается. Так, в цикле циркуляции перелива МГК-ПП задействована мельница 2-й стадии.

Представление пульпы в виде суммы раскрытых и нераскрытых частиц дает простые ответы на сложные вопросы обогащения. Например, объясняет, почему пересортировка в однотипных аппаратах малоэффективна: из совокупности частиц питания один раз уже вывели имеющиеся там хвосты (раскрытые нерудные и бедные сrostки), повторно выводить практически нечего, хвосты на пересортировке получают, в основном, из-за изменившейся плотности питания, они богаче первичных. Указанная модель также дает ответ на вопрос, не снизится ли прирост Fe в следующей за МГК-ПП операции (на конечной стадии сепарации), ведь аппарат уже дал (свой) прирост в операции (0,47, до 1 %)? Если представить, что раньше в питании конечной стадии сепарации были сrostки, а МГК-ПП все их удалил, то на таком питании концентрат получится богаче, то есть прирост на сепарации не только не уменьшится – он может повыситься. Отсюда, в частности, понятно, что целесообразно изменять состав питания между операциями пересортировки, например, путем использования МГК-ПП.

Базы данных сравнительных испытаний 1-й стадии с использованием аппарата МГК-ПП в технологии и без него были получены в один период, но при разных показателях работы секции. Сравнение концентрата 1-й стадии по базовой и новой технологии выполняется по графикам “растяжки” для самых существенных влияющих факторов – свойств руды и производительности (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что по сравнению с базовой схемой с МГК-ПП концентрат 1-й стадии получается богаче примерно на 2 %. Зависимость качества от производительности секции (не удельной нагрузки!) имеет возрастающий характер, поскольку производительность завышали (>282 т/ч) в основном на очень богатой по магнетиту руде. За счет перекрывалось ожидаемое снижение качества концентрата 1-й стадии с ростом переработки, он получался богатый.

В какой мере получение более богатого и тонкого концентрата на 1-й стадии сепарации (табл. 1), то есть в голове процесса, скажется на качестве конечного концентрата? Из сравнения средних величин для двух баз данных (с МГК-ПП и без) конечный концентрат с МГК-ПП получается богаче (табл. 2).

Таблица 2 – Средние показатели технологии 1-1 с МГК-ПП и без него

Показатели		С МГК-ПП		Без МГК-ПП	
		Fe _{общ} , %	γ _{Кл-44} , %	Fe _{общ} , %	γ _{Кл-44} , %
1-я стадия м/с	концентрат	55,51	51,6	53,35	48,9
	хвосты Fe _{общ} /Fe _{магн}	9,70 / 0,71	62,5	9,67 / 0,79	63,6
Конечный концентрат		68,52	95,4	68,02	94,8

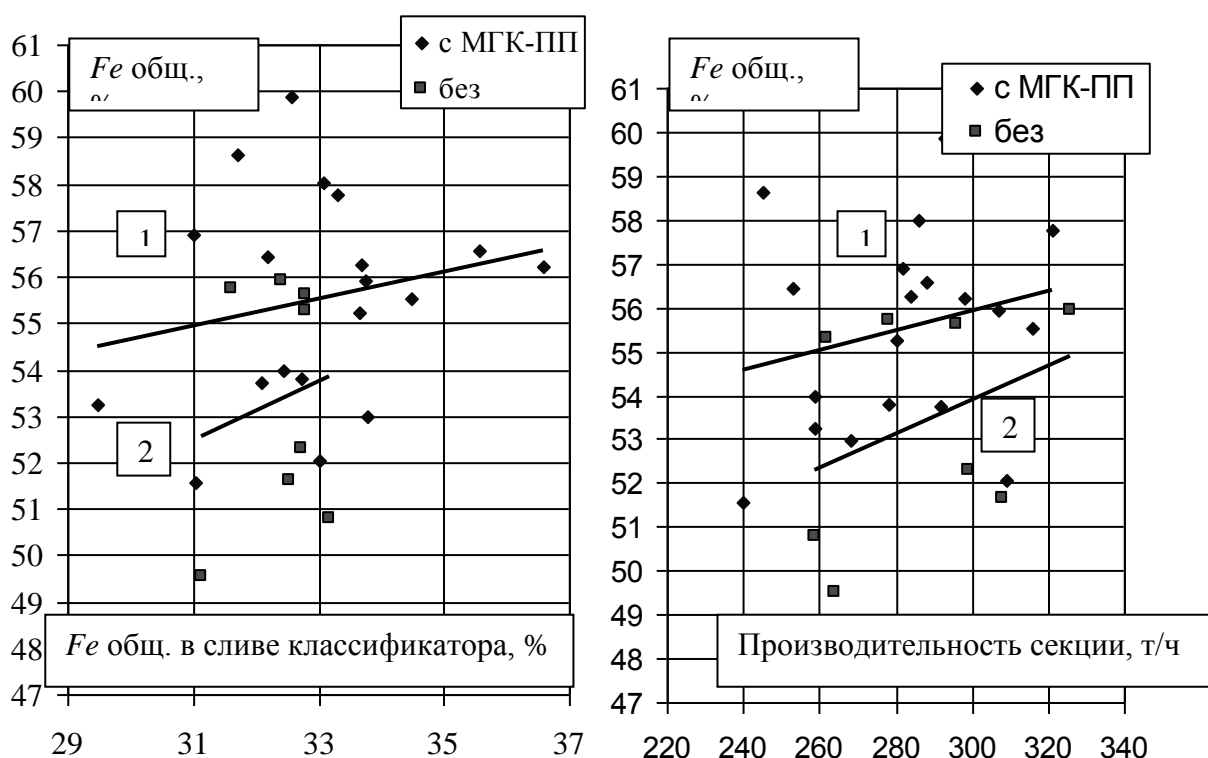


Рис. 3 – Зависимости содержания Fe в концентрате 1-й стадии м/сепарации по базовой и новой технологии от показателей работы секции 1- с МГК-ПП; 2- без МГК-ПП (базовая схема)

При этом средняя производительность для обеих баз данных получилась одинаковой, но руда (Fe в сливе классификатора) несколько различалась. Эта ситуация типична для любых промышленных испытаний (руда на ГОКах не усредняется). Поэтому корректно проводить сравнение результатов по графикам “растяжки” [2], то есть строить зависимости величин от наиболее важных показателей – свойств руды и производительности (рис. 4).

Из рис. 4 видно, что при одинаковой по магнетиту руде и производительности использование МГК-ПП повышает качество концентрата примерно на 0,5 %. Разница в качестве концентрата для схем с аппаратом МГК-ПП и без не-

го уменьшается при работе с малой производительностью на бедной руде (зависимости 1 и 2 сходятся). Качество при этом получается высокое в обоих случаях, но разница технологий не так проявлена. При увеличении производительности (одновременно увеличивается Fe магн. в руде) разница в качестве, по схемам с МГК-ПП и без него, возрастает.

В результате испытаний определено, что при плановой производительности конечный концентрат становится не только богаче на 0,5 %, но и тоньше на 0,5-1,0 % (на высокой производительности разница в ситовке больше). Отсюда следует, что МГК-ПП позволяет влиять на ситовку промпродуктов и концентрата, во-первых, без изменения показателей работы измельчительного оборудования, во-вторых, без переизмельчения всего промпродукта (на доизмельчение поступает лишь часть слива аппарата).

Прирост качества концентрата получен при плановой производительности секции. Установленный резерв – 0,5 % качества – открывает возможность повышать производительность и получать обычное, плановое качество концентрата. Эта возможность подтверждается повышением ситовки конечного концентрата. Конкретная цифра увеличения производительности определяется опытом работы фабрики при анализе более обширной базы данных, чем получена нами.

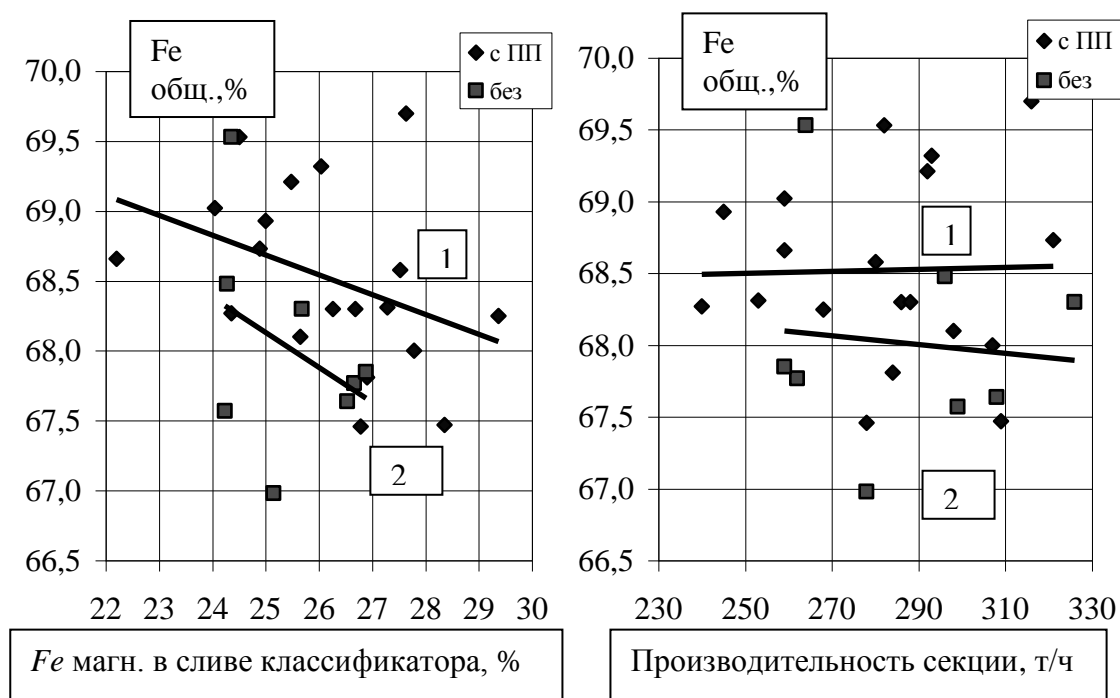


Рис. 4 – Зависимости массовой доли железа в конечном концентрате от показателей работы секции (схема 1-1)
1 – технология с МГК-ПП; 2 – без МГК-ПП

Выводы. Влияние МГК-ПП на технологию 1-1 (2 стадии измельчения) при работе аппарата на питании конечной стадии магнитной сепарации и подаче его слива на 1 стадию магнитной сепарации состоит в следующем:

1. При среднем выходе слива в операции 18,8 % (8,5 % от исх.) слив обогащает питание 1-й стадии магнитной сепарации на 2-3 % и снижает его плотность по сравнению со сливом классификатора на 100 кг/м³.

2. Концентрат 1-й стадии получается богаче на 2 % и тоньше на 2-3 %.

3. Содержание Feобщ, Feмагн в хвостах 1-й стадии изменяется мало, в среднем не превышает технологической нормы. На содержание Feобщ в хвостах оказывают влияние следующие показатели слива (в порядке убывания): содержание Feмагн., ситовка, выход, содержание Fe общ..

4. За счет использования МГК-ПП конечный концентрат становится богаче в среднем на 0,5 % без снижения производительности по руде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новая технология производства высококачественного железорудного концентрата при измельчении руды в две стадии / Надутый В.П., Чельшкіна В.В, Усов О.А., Щаденко А.А.// Матер. II-й международной науч.-техн. конф. «Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях». 25 февраля - 1 марта, п. Славское, Карпаты. – 2002. – С.163.

2. Промышленные испытания магнитной сепарации разгрузки мельницы доизмельчения рядового концентрата ОАО «Лебединский ГОК» / Чельшкіна В.В.// Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск. – 2008. – Вып. 74. – С. 22-24.

УДК 622.333:[522.12:537.611.43]

А.В. Бурчак, канд.техн.наук,
В.И. Барановский, мл. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ УГЛЕЙ ПРИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ ЯВЛЕНИИ НА ПЕТРОГРАФИЧЕСКОМ И МОЛЕКУЛЯРНОМ УРОВНЕ

В роботі представлено результати досліджень впливу раптового викиду вугілля та газу на стан та властивості органічної речовини. Показано що газодинамічні явища викликають структурні трансформації у вугільній речовині, які призводять до генерації газів

CHARACTER OF DESTRUCTION OF COALS AT THE GAZDYNAMIC PHENOMENON AT THE PETROGRAPHIC AND MOLECULAR LEVEL

In the work the researches' results of influencing of coal and gas sudden are outburst are represented on the condition and properties of organic matter. It is shown that the gazdynamic phenomenon cause structural transformations in the coal matter, which result in the generation of gases

Газодинамические явления (ГДЯ) в угольных пластах приводят к существенному изменению структуры и свойств органического вещества. Исследования этих изменений, причин их появления и законов развития, позволяют приблизиться к решению проблемы выбросоопасности углей и прогнозу состояния системы «уголь-газ». Понимание условий и закономерностей возникновения ГДЯ, способствует решению ряда технических и энергетических проблем страны. Поэтому, исследование особенностей разрушения угольного вещества, условий и путей прохождения структурных трансформаций на петрографическом и молекулярном уровне, является актуальным.