

**Г.В. Губин, д.т.н., проф.**  
*Криворожский национальный университет*  
**В.А. Хованец, гл. обогатитель**  
**В.В. Лотоус, председатель Правления**  
**В.О. Равинская, нач. испыт. Центра**  
*ЧАО «Полтавский горно-обогатительный комбинат»*

## **Пути дальнейшего повышения качества железорудных концентратов на ЧАО «Полтавский ГОК» в современных условиях**

*Обоснована возможность улучшения качества магнетитовых концентратов путем модернизации основных операций технологии магнитно-флотационного обогащения. Определена возможность использования движущегося слоя частиц магнетита для отделения суспензии железной руды, которая создается в зазорах щелей постоянных магнитов дешламатора. Впервые были проведены испытания для переработки конечных концентратов ультразвуковыми полями низкого напряжения для повышения их технологических свойств.*

*Показана работа аппаратов типа «магнитное сито», а также магнитные гидросепараторы (МГС), в чане которых установлена дополнительная щелевая магнитная система. Впервые проведены испытания по обработке конечных концентратов ультразвуковыми полями низкой напряженности для повышения их технологических свойств. Ультразвуковая обработка позволяет добиться повышения флотационных свойств конечных концентратов, после очистки поверхности разделяемых частиц от адгезионных загрязнений.*

*Разработаны практические рекомендации для проведения полупромышленных испытаний комбинированной магнитно-гидродинамической технологии совместно с ультразвуковой очисткой промпродуктов флотации для доводки конечных концентратов до качества Fe-70 %.*

**Ключевые слова:** магнитная сепарация; флотационная доводка; магнетит; ультразвуковые поля; концентрат.

**Постановка проблемы.** Конкуренция сырья на мировом рынке требует незамедлительных мер по улучшению качества железорудных концентратов и одновременного снижения их себестоимости на украинских горно-обогатительных комбинатах. На первый взгляд это противоположные задачи, т.к. повышение массовой доли железа в концентратах, как правило, ведёт к их удорожанию. Выход из этого положения находится в уменьшении расхода электроэнергии во всех технологических операциях, но главным образом при измельчении, а также в увеличении выхода концентрата за счёт повышения извлечения железа не только магнитного, но и слабомагнитного [1].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известны методы улучшения качества железорудных концентратов, такие как тонкое грохочение и обратная катионная флотация, которые давно применяются на североамериканских фабриках и начали применяться на предприятиях стран бывшего СССР в том числе и Украины.

Имеются разработки и предложения различных авторов (Губин В.В., Солецкий В.Л., Малюк О.П.) связанные с использованием сепараторов, особенно в последней стадии обогащения с низкой напряжённостью магнитного поля.

Особое место в решении задач повышения качества занимают методы подготовки минерального сырья к обогащению [2], методы автоматизации аналитического контроля процессов обогащения и автоматизация самих процессов обогащения.

Следует признать, что на современном этапе развития и применения технологий обогащения железных руд методы увеличения качества были разработаны и известны давно, но за последние годы ничего нового в решении данного вопроса не внесено, а используются известные в связи с тем, что в них возникла потребность.

Тонкое грохочение в промышленном масштабе впервые в Украине было внедрено на Полтавском ГОКе. Используя тонкое грохочение в стадии доводки концентрата, повышали содержание железа в товарном продукте на 1,5 %. Надрешётный продукт, в котором концентрируется наиболее труднообогатимая часть руды, следовало дорабатывать в отдельном цикле. Такая доработка требует его доизмельчения с последующим обогащением на магнитном сепараторе с большой селективностью разделения [3, 4, 5].

Бровко А.И. и Красуля А.Ю. установили, что при обогащении тонковкрапленных куммингонит-магнетитовых кварцитов для предотвращения засорения концентратов тонкими шламами, уменьшения потерь магнетита и снижения удельной поверхности на (30–40) м<sup>2</sup>/кг, уменьшения удельных нагрузок на

мельницы необходимо применять постадиальное выделение сравнительно грубозернистых концентратов, начиная с первой стадии обогащения [6]. Для этого рекомендовалось применять тонкое грохочение с последующей сепарацией подрешётного продукта в магнитных полях напряжённостью (50–55) кА/м.

Немагнитный продукт, соединяясь с надрешётным, направляется на магнитную дешламацию, а затем на доизмельчение. В этом случае в третьей стадии измельчения исключается возможность попадания бедных сростков в сливной продукт классификации без их дополнительного измельчения. Было показано, что для тонковкрапленных руд Горишне-Плавинского месторождения при получении высокосортного концентрата необходимо иметь степень раскрытия зерен железорудных минералов (96–99) %. Это достигалось при измельчении руды до крупности 99%, класса минус 40 мкм, а раскрытые зерна магнетита размером до 50 мкм следует выделять тонким грохочением, что позволяет избежать их переизмельчения.

Впоследствии тонкое грохочение также нашло применение на Костомукшском и Соколовско-Сарбайском ГОКах.

Компания Derrick (США) разработала и наладила производство грохотов «Стек Сайзер», которые считаются одной из новейших разработок в технологии мокрого тонкого грохочения.

С компанией Derrick успешно сотрудничают такие предприятия России и Казахстана, как Карельский окатыш, Ковдорский ГОК, Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное объединение, Полиметалл, Апатит, Вишневогорский ГОК, Евраз-Холдинг и др.

В последнее время промышленные испытания были проведены на предприятиях «АрселорМиттал Кривой Рог» и «Южный горно-обогатительный комбинат» [7].

В ходе испытаний на ЮГОКе с применением грохотов Derrick был получен концентрат с содержанием железа на 0,5 % выше, чем по базовой технологии. Рекомендована 3-х стадийная схема для получения концентрата с 67,1 % железа при выходе концентрата 41,0 %.

В [8] показана возможность использования для сепарации железорудной суспензии подвижного слоя из магнетитовых частиц, который создается в щелевых зазорах постоянных магнитов дешламаторов. Для осуществления такого способа были созданы аппараты типа «магнитное сито», а также магнитные гидросепараторы (МГС), в чане которых установлена дополнительная щелевая магнитная система.

Замена обычных дешламаторов на МГС обеспечивает более высокий прирост содержания железа в концентрате при том же или более низком содержании железа в хвостах. Различия в показателях разделения в магнитных дешламаторах МД и в аппаратах МГС объясняется наличием в рабочей зоне МГС стабильного уровня магнитной суспензии, который создается и поддерживается с помощью дополнительных магнитных систем, находящихся в зоне дешламатора, тогда как в МД высота уровня магнетита в чане аппарата более зависима от гидравлических режимов.

На Полтавском ГОКе магнитные гидросепараторы работают вместо первой стадии магнитной сепарации. Они сбрасывают в отходы такой же объём шламов, как и магнитные сепараторы первой стадии, но с меньшим содержанием железа общего и магнитного на 2 и 1 % соответственно. Извлечение металла в концентрат при этом возросло примерно на 3 %. Содержание железа за счёт вывода первичных шламов в голове процесса также увеличилось [8].

Что касается технологии флотационного дообогащения, то она осуществлена в Украине на двух комбинатах: Ингулецком и Полтавском ГОКах.

Флотационная технология является наиболее радикальной для решения проблемы удаления кремнезёма и получения чистых магнетитовых концентратов из тонковкрапленных руд. Попутно уменьшается содержание щелочей калия и натрия, входящих в состав минералов породы. Прирост содержания железа, при флотационной доводке магнетитовых концентратов, изменяется от 2 до 9 %. В результате обратной катионной флотации можно получить даже флотационные концентраты с высоким содержанием железа, более 70 %.

На ИнГОКе применяется обратная катионная флотационная доводка концентрата магнитной сепарации, которая повышает качество концентрата с 61,0 до 67,0 %. Обобщенная технологическая схема процессов флотации представлена на рисунке 1.

**Цель исследований.** Обоснование возможности улучшения качества магнетитовых концентратов путем совершенствования основных операций магнитно – флотационной технологии обогащения.

**Изложение основного материала.** На Полтавском ГОКе перерабатывают железистые кварциты Горишне-Плавинского и Лавриковского месторождений, представленных куммингтонит-магнетитовыми кварцитами руды пачки  $K^2_2$  и магнетитовыми кварцитами – и руда пачки  $K^2_5$  ООО «Еристовский ГОК».

Вся руда, подаваемая в переработку, дробится до минус 30 мм и подвергается сухой магнитной сепарации в двух отделениях дробильного комплекса дробильно-обогатительной фабрики. Сырая руда проходит процесс сухой магнитной сепарации на барабанных и ленточных сепараторах, чем достигается прирост содержания железа на 1,3–1,5 % при среднем выходе хвостов 7 %.

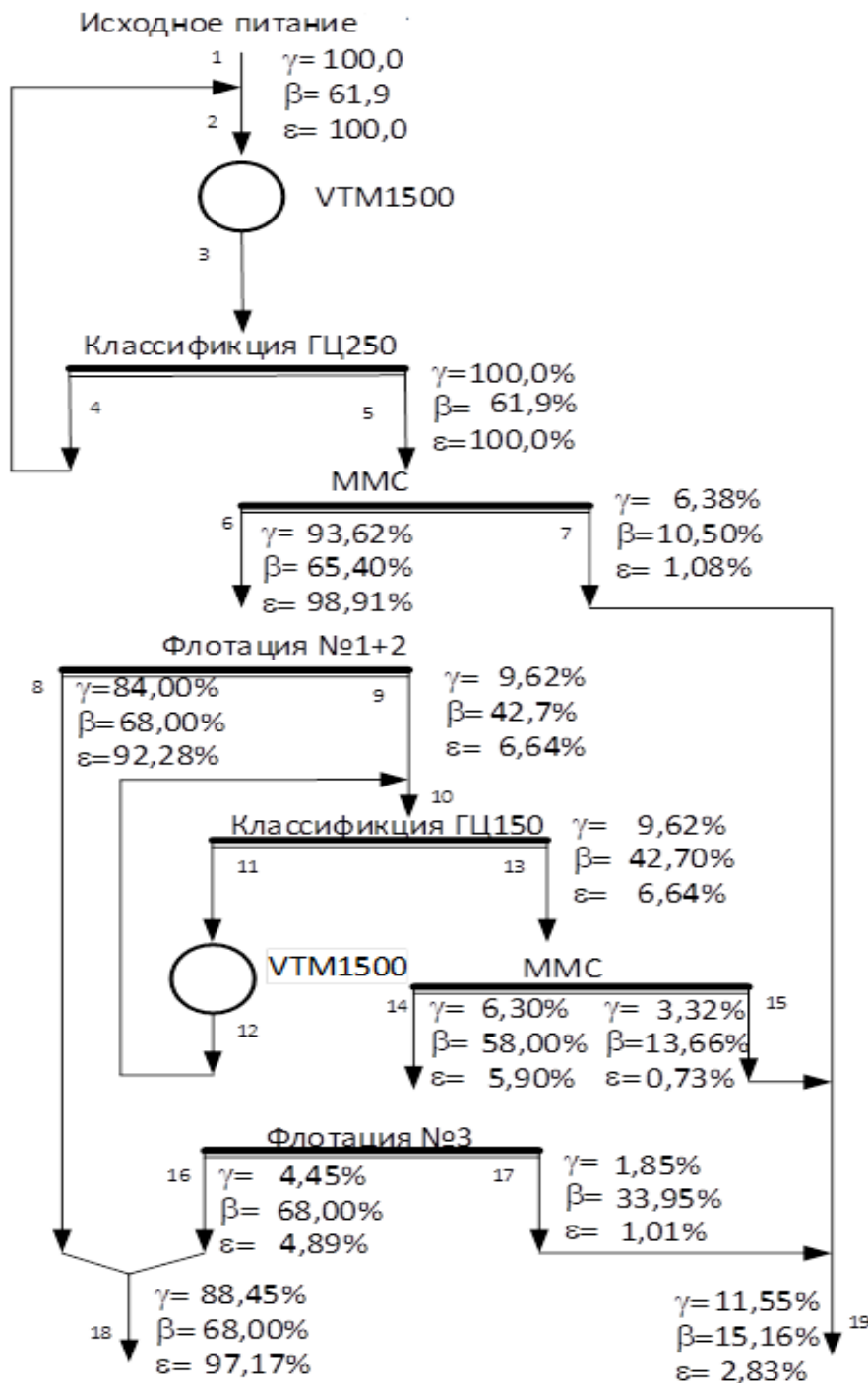


Рис. 1. Обобщенная технологическая схема магнитно-флотационной доводки концентратов Полтавского ГОКа

В схеме сухой магнитной сепарации включены додобравливающие центробежные дробилки Вартас, которые в комплексе с конусными дробилками крупного, среднего и мелкого дробления позволили снизить крупность исходной руды, поступающей на измельчение, с содержания 14 % класса + 20 мм на содержание 4 % класса + 20 мм. Это дало возможность в значительной степени увеличить производительность циклов измельчения и мокрого магнитного обогащения.

В настоящее время на восьми технологических секциях ОФ-1 по четырехстадиальной схеме измельчения перерабатывается руда пачки  $K^2_5$  с содержанием  $Fe_{\text{общ}}$  34,53 % и получают концентрат с массовой долей железа общего 60,6 %. По технологической схеме обогащается руда пачки  $K^2_2$ .

Руда пачки  $K^2_2$  ( $Fe_{\text{общ}}$  – 35,66 %) перерабатывается на пяти секциях ОФ-2 по двухстадиальной схеме измельчения с получением концентрата, содержащего 64,6 % железа общего.

Для получения флотационного концентрата концентрат магнитного обогащения ОФ-1 подвергается дальнейшему обогащению методом обратной катионной флотации на флотоустановке № 2, а концентрат

магнитного обогащения ОФ-2 подвергается дальнейшему обогащению методом обратной катионной флотации на флотоустановке № 1. Пенные продукты Флотации 1 и Флотации 2 подвергаются сгущению и направляются на доработку на флотоустановку № 3, где из пенного продукта извлекается до 50 % железорудного концентрата с содержанием массовой доли железа порядка 67 %.

Указанная комбинированная магнито-флотационная схема включает следующие операции:

- доизмельчение магнетитового концентрата в вертикальных мельницах VTM-1500 типа Vertimill, компании Metso Minerals;
- классификация измельченного продукта производится в батареях гидроциклонов малых диаметров 250 мм и 125 мм, производства компании MULTOTEC;
- магнитная сепарация осуществляется на высокопроизводительных магнитных сепараторах Lims (для сильномагнитных руд) типа WS-1236 СТС, фирмы Metso Minerals.

Непосредственно перед основной флотацией производится предварительное обесшламивание слива классификации, контактирование с флотореагентом и, основная флотация концентратов магнитного обогащения.

Пенный продукт основной флотации подвергается классификации по крупности в гидроциклонах, доизмельчение производится в вертикальных мельницах VTM-1500 типа Vertimill, магнитная сепарация с предварительным обесшламиванием слива классификации, повторной флотации подготовленного пенного продукта на отдельной флотационной установке. Процесс флотации осуществляется в флотомашине RCS 130 объёмом 130 м<sup>3</sup>, производства фирмы Metso Minerals.

Железородная пульпа, прошедшая контактирование с реагентом Lilafлот D817M, поступает самотёком в первую камеру основной флотации. В процессе флотации используется собиратель Lilafлот D817M производства AkzoNobel. Питанием последующей камеры является камерный продукт предыдущей камеры. Камерный продукт последней камеры - это конечный концентрат флотации.

Применение флотационной доводки магнетитового концентрата с массовой долей железа (62,6–64,6 %) позволило повысить содержания железа в концентрате флотации до уровня (67,2–68,2 %) и уменьшить массовую долю кремнезёма до (5,4–5,0 %). Производственными испытаниями было установлено, что при более тонком доизмельчении промпродуктов появляется возможность достичь стабильного содержания массовой доли железа в концентрате флотации  $Fe_{\text{общ.}} - 70,1 \%$ .

На Полтавском ГОКе на протяжении многих лет продолжается работа по подбору более эффективных флотационных реагентов в сравнении с применяемым Lilafлот D817M как с компанией AkzoNobel, так и с применением реагентов разных мировых производителей, выпускающих собиратели такого же класса. Выполняются, также исследования по оптимизации реагентных режимов, изменения характеристик пульпы, стабилизации и управления технологических процессов, подбору мелющей среды и оптимизации режимов измельчения. Проводятся работы по подбору режимов доставки и переработки сортов руд оптимального соотношения в разные периоды производства в зависимости от требований к качеству конечной продукции для конкретного потребителя.

В службе управления качеством комбината реализуется проект внедрения системы АСАК продуктов обогащения и в первую очередь продуктов флотационного обогащения. За счет применения рентгеноспектральных анализаторов Ariel 9900 в комплексе с системами пробоподготовки Gerzog и систем прободоставки намечено сузить периодичность отбора проб и получения оперативной информации по качественным показателям с 2<sup>-х</sup> часов до 1<sup>-го</sup> часа. Это позволит более оперативно представлять информацию для ведения технологических процессов с целью поддержания требуемого качества производства.

Анализируя качество получаемых в результате флотационной доводки концентратов, даже при почти полном раскрытии минеральных зёрен не достигается эффективного разделения во флотационном цикле и происходят потери железа с отходами, соизмеримые по качеству с исходной рудой. Это явление связано с образованием адгезионных искусственных техногенных сростков и электрохимической флокуляцией шламистых частиц. Техногенные сростки теряются с отходами обогащения или загрязняют конечный концентрат [9]. Загрязнения поверхности концентрата породными частицами приведены на рисунку 2.

Сотрудниками Полтавского ГОКа, Криворожского национального университета и АГН Украины разрабатывается технология доработки промпродуктов флотационной доводки с применением ультразвука для разрушения техногенных сростков перед их флотопроводкой. Для качественного, высокоэффективного процесса флотации важную роль играет чистота поверхности частиц породных и рудных минералов, поскольку на частицах должны закрепляться необходимые реагенты. Установлено, что при ультразвуковом воздействии извлечение металлов в концентрат больше, чем достигаемое только при реагентной обработке [10].

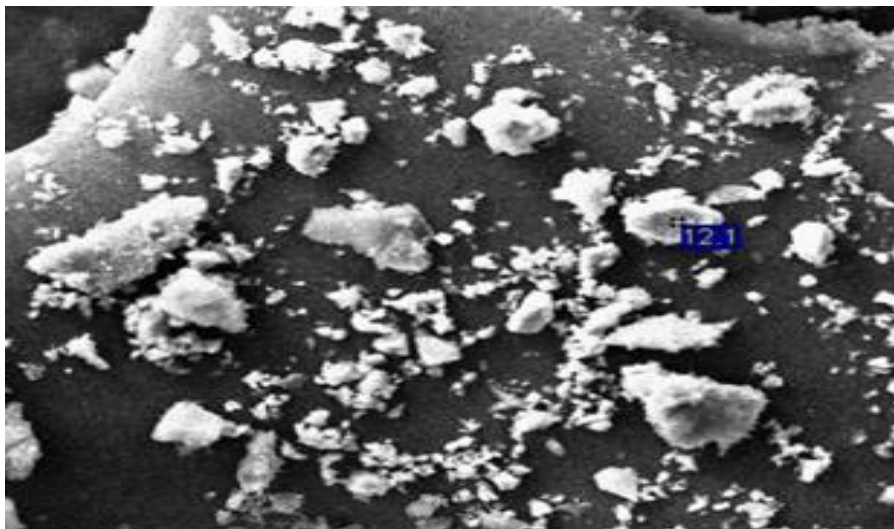


Рис. 2. Концентрат флотации (черное) с породными загрязнениями на поверхности (белое).  
Электронное изображение

В процессе научной работы подробно изучены промпродукты флотационной установки № 3 Полтавского ГОКа, в которых отмечено повышенное содержание примесей ( $MgO$ ;  $Na_2O$ ;  $K_2O$ ;  $Al_2O_3$ ) в сравнении с промпродуктами флотационных установок № 1 и № 2 [11, 12, 13].

Подтверждается факт, что со снижением размера частиц, повышается вязкость дисперсной системы (пульпы) и растет общая поверхность измельченного материала в магнитные флоккулы, происходит механический захват природных частиц и др.

Данные развернутого химического анализа, полученные после ультразвукового тестирования показывают, что во всех без исключения случаях, после ультразвуковой обработки наблюдается переход в хвосты магнитной сепарации и в хвосты флотации значительного количества присутствующих в промпродуктах «нежелательных» оксидов [13]. Сравнение изменения массовой доли  $Al_2O_3$  в промпродуктах с обработкой ультразвуком и без обработки, ультразвуком приведено на рисунке 3.

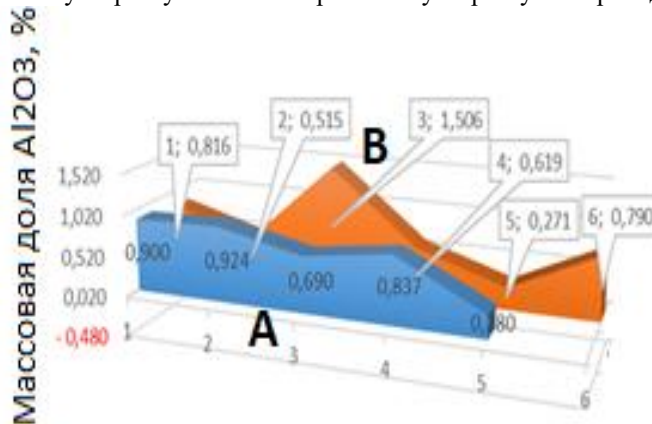


Рис. 3. Сравнение изменения массовой доли  $Al_2O_3$  в промпродуктах А-пульпа без обработки ультразвуком и В-пульпа обработана ультразвуком. 1 – слив мельницы; 2 – питание магнитной сепарации; 3 – хвосты магнитной сепарации; 4 – питание флотации; 5 – хвосты флотации.

Объяснить это можно тем, что очищенные частицы рудных и породных зерен, приобретают дополнительную контрастность разделительных свойств, которая до обработки нивелировалась взаимными адгезионными загрязнениями, остальные причины относятся к механохимическим, сонохимическим реакциям, реакциям механолиза и т.п. и в данной работе не рассматривались.

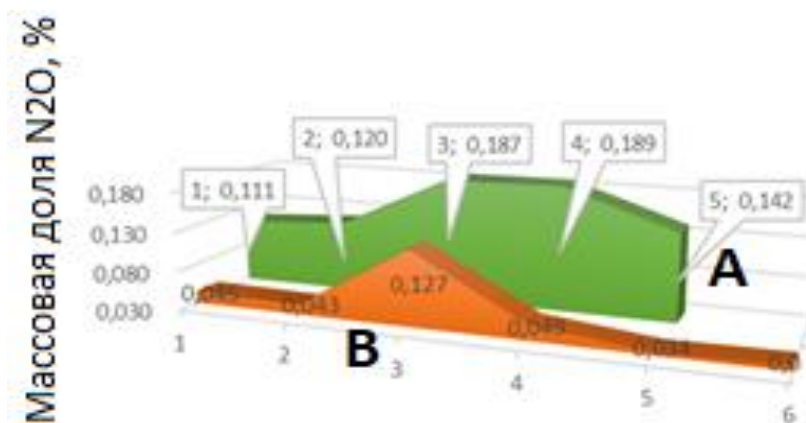


Рис. 4. Динамика изменения массовой доли Na<sub>2</sub>O в промпродуктах флотации во время продвижения по технологической схеме.

Показано в сравнении А-пульпы без обработки ультразвуком и В-пульпы обработана ультразвуком  
 1 – слив мельницы; 2 – питание магнитной сепарации; 3 – хвосты магнитной сепарации;  
 4 – питание флотации; 5 – хвосты флотации

Низкая массовая доля Na<sub>2</sub>O, озвученном продукте предполагает переход в жидкую фазу пульпы рисунке 4. Особенно интересным для флотации таких тонких продуктов может стать диспергирование реагентов в ультразвуковом поле. Ультразвуковые колебания обеспечивают сверхтонкое диспергирование (не реализуемое другими способами), увеличивая межфазную поверхность реагирующих частиц. При озвучивании пульпы частицы очищаются, а реагенты, даже такие, которые плохо растворяются в воде, диспергируются и более равномерно распределяются в жидкой фазе и на поверхностях частиц. Дополнительным положительным фактором, при ультразвуковой обработке пульп, станет дробление, диспергация пузырьков воздуха, в этом случае возрастает эффективность флотации т.к. возрастает количество микропузырьков и растет максимальное число частиц, извлекаемых в пенный продукт. Согласование размеров пузырьков с размерами флотируемых частиц одна из основных задач технологии флотации и производителей флотационного оборудования. Оптимальный размер пузырьков для частиц различной крупности зависит от степени гидрофобности частиц. Количество пузырьков должно соответствовать полной флотации всех частиц извлекаемого минерала, в противном случае неизбежны потери ценного компонента по причине нехватки пузырьков воздуха. Снижение вязкости озвученных пульп способствует ускорению процесса флотации, так, например, для частиц одинакового размера и массы в более вязких пульпах необходим пузырек воздуха большего размера для создания достаточной подъемной силы. Также повышение эффективности процесса флотации, в условиях обработки пульпы ультразвуком, может быть связано с механическим осыпанием слабогидрофобных и произвольно захваченных минеральных частиц с пузырьков воздуха.

**Выводы.** В настоящее время даже для весьма тонковкрапленных руд, применяемая технология обратной катионной флотации в пневмомеханических флотокамерах, позволяет производить конкурентоспособные концентраты. В пульпах, насыщенных микропузырьками снижается вязкость, что в свою очередь позволяет тонким породным частицам успешно покинуть рабочую зону магнитного сепаратора до завершения формирования устойчивых, плотных магнитных флокул.

Для руд со средней обогатимостью таких, например, как руды текущей добычи, перерабатываемые на Ингулецком и Полтавском ГОКах, ещё имеются резервы повышения качества с помощью модернизации магнитных технологий и, где также может быть применена технология ультразвука и других методов повышения качества конечных концентратов.

Экспериментально установлено, что применение ультразвуковой обработки промпродуктов повышает эффективность разделения минералов в последующих обогатительных операциях повышая, таким образом технологические свойства промпродуктов и концентратов флотации № 3. Положительный эффект проявляется для всех промпродуктов отобранных, согласно «Программы отбора проб на участках флотации № 3 ОФ «Полтавский ГОК» и подлежащих тестированию. Положительный эффект подтверждается на основании изучения результатов химических анализов, большая часть из которых выполнена Заказчиком на собственной лабораторной базе.

Ультразвуковая обработка позволяет добиться повышения флотационных свойств после очистки поверхности разделяемых частиц от загрязнений. К таким загрязнениям можно относить породную адгезию и различного рода пленки, покрывающие поверхности, как рудных, так и нерудных раскрытых частиц и препятствующие проявлению контрастности свойств, на чем, собственно говоря, основан любой процесс разделения.

Магнитный анализ обработанных промпродуктов показал, что ультразвуковое воздействие создает устойчивую дисперсную систему и повторное адгезионное загрязнение рудных частиц породными минералами не происходит. Это подтверждает наши тезисы о том, что адгезионное загрязнение происходит во время измельчения, а именно в момент образования новой активной поверхности и активация этой поверхности имеет механохимический характер. Для очистки адгезионно загрязненных минеральных поверхностей достаточно развести рудные и породные зерна на расстояние, примерно равное их диаметру.

Технологические свойства конечных продуктов повышаются и, процессы последующего магнитного и флотационного разделения проходят эффективнее также по причине изменения вязкости пульпы. Снижение массовой доли оксидов в конечных продуктах разделения повышает технологические свойства концентратов и предоставляет более широкие возможности в плане управления подготовкой шихты для производства окатышей требуемого качества.

При неизменном качестве концентрата, выход конечного концентрата увеличился на 2–5 %. Ожидаемое повышение качества возможно достигнуть при использовании ультразвуковых установок с излучателями, которые будут спроектированы с учетом специфики оптимального распределения акустической энергии в объеме железорудной пульпы во внутреннем объеме проточной камеры и создадут ультразвуковое поле с интенсивностью, необходимой и достаточной для образований и поддержания режима развитой кавитации.

К положительным эффектам относятся снижение общей вязкости пульпы, возникающее в результате ультразвуковой обработки за счет образования микропузырьков. Уменьшение среднего диаметра пузырьков приводит к увеличению газонаполнения в пульпе за счет их более медленного всплытия и, следовательно, нахождения в объеме сепаратора большего объема воздуха и большего количества пузырьков, что дает возможность немагнитным частицам покинуть зону активного образования плотных флоккул, еще до образования флоккулы.

Снижение, после ультразвуковой обработки, общей вязкости пульпы позволит вести более эффективное обогащение для частиц крупностью 5 мкм и менее, которые сегодня теряются в виде шламов, хотя и необходимы для формирования ферритной связки в окатышах.

#### Список использованной литературы:

1. Аналитический обзор направлений улучшения качества магнетитовых концентратов / Г.В. Губин, Л.В. Скляр, Т.П. Ярош, Г.Г. Губин // Збагачення корисних копалин. – 2016. – Вып. 64 (105). – С. 42–59.
2. Гзоян С.Р. Физические свойства железистых кварцитов как основа рациональной схемы рудоподготовки / С.Р. Гзоян // IX Конгресс обогатителей стран СНГ : сб-к мат-лов. Т. 1. – М. : МИСиС, 2013. – С. 173–178.
3. Губин Г.В. Исследование режимов работы шаровых барабанных мельниц с высокой степенью заполнения / Г.В. Губин, В.И. Головань, Г.Г. Губин // Збагачення корисних копалин : наук.-техн. зб-к. – 2014. – Вып. 58 (99)–59 (100). – С. 34–40.
4. А. с. 869812 СССР, МКИ В 03 С 1/00. Способ разделения смеси мелких частиц магнетитовой суспензии / В.Л. Чумаков
5. Чельшикина В.В. Специфика производства и освоения технологии магнитной гидросепарации в ОАО «Полтавский ГОК» / В.В. Чельшикина // Геотехническая механика: межвед. сб-к науч. тр. / Ин-т геотехнической механики НАН Украины. – Вып. 22. – Дн-ск, 2000. – С. 109–112.
6. Кармазин В.В. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых / В.В. Кармазин, В.И. Кармазин // Издательство Московского государственного горного университета. – Т. 1. – 2005. – 669 с. : ил.
7. «Отчет по полупромышленным испытаниям технологии тонкого грохочения Derrick® для производства концентрата с массовой долей железа общего не менее 67,0 % на секциях РОФ-1 ОАО «ЮГОК» / ЗАО «Транс Текник» : Договор № 100812-SGB : от 10.05.2013.
8. Губин Г.Г. Обобщение и анализ возможности использования ультразвуковых колебаний при переработке полезных ископаемых / Г.Г. Губин, Т.П. Ярош, Л.В. Скляр // Збагачення корисних копалин. – 2016. – Вып. 62 (105). – С. 132–143.
9. Исследование по закреплению дисперсных рудных минералов на поверхности кварца при измельчении железистых кварцитов / Ю.Л. Грицай, М.В. Педан, З.Д. Герасимова и др. // Обогащение руд черных металлов. – 1980. – Вып. 9. – С. 3–9.
10. Влияние ультразвукового воздействия на флотацию в реакторе-сепараторе руд различной степени контрастности / Л.О. Филиппов, В.Д. Самыгин, В.В. Северов, А.С. Матинин // Цветные металлы. – 2012. – № 6. – С. 15–20.
11. «Розробка заходів комплексної дії для підвищення технологічних властивостей концентратів флотацій» : Технічний звіт до договору № 1572 : від 01 вересня 2016 року / КП «Наука». – Март, 2017.
12. Губин Г.В. Применение ультразвука для очистки измельченных минеральных частиц перед флотацией / Г.В. Губин, В.В. Ткач, В.О. Равинская // Качество минерального сырья : сб-к науч. тр. – Кривой Рог, 2017. – 700 с. ; С. 341–349.
13. Губин Г.В. Влияние ультразвуковых полей низкой интенсивности на повышение технологических свойств магнетитовых концентратов. / Г.В. Губин, Г.И. Еременко, В.И. Головань // Качество минерального сырья : сб-к науч. тр. – Кривой Рог, 2017. – 700 с. ; С. 581–597.

**References:**

1. Gubin, G.V., Skljar, L.V., Jarosh, T.P. and Gubin, G.G. «Analiticheskiy obzor napravlenij uluchsheniya kachestva magnetitovykh koncentratov», *Zbagachennja korisnih kopaln*, Vol. 64 (105), pp. 42–59.
2. Gzojan, S.R. (2013), «Fizicheskie svoystva zhelezistykh kvarcitolov kak osnova racional'noj shemy rudopodgotovki», *IH Kongress obogatitelej stran SNG*, sb-k mat-lov, Vol. 1, MISiS, Moskva, pp. 173–178.
3. Gubin, G.V., Golovan', V.I. and Gubin, G.G. (2014), «Issledovanie rezhimov raboty sharovykh barabannykh mel'nic s vysokoy stepen'ju zapolneniya», *Zbagachennja korisnih kopaln*, nauk.-tehn. zb-k, Vol. 58 (99)–59 (100), pp. 34–40.
4. Chumakov, V.L., *Sposob razdeleniya smesi melkih chastic magnetitovoy suspenzii* [The method for separating a mixture of fine particles of magnetite suspension] MKI V 03 C 1/00, SSSR, A. s. № 869812.
5. Chelyshkina, V.V. (2000), «Specifika proizvodstva i osvoeniya tehnologii magnitnoj gidroseparacii v OAO «Poltavskiy GOK», *Geotekhnicheskaja mehanika: mezhved. sb-k nauch. tr.*, Vol. 22, In-t geotekhnicheskoy mehaniki NAN Ukrainy, Dn-sk, pp. 109–112.
6. Karmazin, V.V. and Karmazin, V.I. (2005), «Magnitnye, jelektricheskie i special'nye metody obogashheniya poleznykh iskopayemykh», *Izdatel'stvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, Vol. 1, 669 p., il.
7. ZAO «Trane Teknik» (2013), *Otchet po polupromyshlennym ispytaniyam tehnologii tonkogo grohochenija Derrick® dlja proizvodstva koncentrata s massovoj dolej zheleza obshhego ne menee 67,0 % na sekcijah ROF-1 OAO «JuGOK*, Dogovor N 100812-SGB, ot 10 maja.
8. Gubin, G.G., Jarosh, T.P. and Skljar, L.V. (2016), «Obobshhenie i analiz vozmozhnosti ispol'zovaniya ul'trazvukovykh kolebanij pri pererabotke poleznykh iskopayemykh», *Zbagachennja korisnih kopaln*, Vol. 62 (105), pp. 132–143.
9. Gricaj, Ju.L., Pedan, M.V., Gerasimova, Z.D. and others (1980), «Issledovanie po zakrepleniju dispersnykh rudnykh mineralov na poverhnosti kvarca pri izmel'chenii zhelezistykh kvarcitolov», *Obogashhenie rud chernykh metallov*, Vol. 9, pp. 3–9.
10. Filippov, L.O., Samygin, V.D., Severov, V.V. and Matinin, A.S. (2012), «Vlijanie ul'trazvukovogo vozdejstvija na flotaciju v reaktore-separatore rud razlichnoj stepeni kontrastnosti», *Cvetnye metally*, No. 6, pp. 15–20.
11. KP «Nauka» (2016), *Rozrobka zahodiv kompleksnoi' dii' dlja pidvyshhennja tehnologichnykh vlastyivostej koncentrativ flotacii'*, Tehnichnyj zvit do dogovoru N 1572, vid 01 veresnja.
12. Gubin, G.V., Tkach, V.V. and Ravinskaja, V.O. (2017), «Primenenie ul'trazvuka dlja ochistki izmel'chennykh mineral'nykh chastic pered flotaciej», *Kachestvo mineral'nogo syr'ja*, sb-k nauch. tr., Krivoj Rog, 700 p., pp. 341–349.
13. Gubin, G.V., Eremenko, G.I. and Golovan', V.I. (2017), «Vlijanie ul'trazvukovykh polej nizkoj intensivnosti na povyshenie tehnologicheskikh svoystv magnetitovykh koncentratov», *Kachestvo mineral'nogo syr'ja*, sb-k nauch. tr., Krivoj Rog, 700 p., pp. 581–597.

**Губин** Георгий Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры «Металлургия черных металлов и литейного производства» ГВУЗ Криворожский национальный университет.

Научные интересы:

- повышения качества железорудных концентратов;
  - магнитные гидросепараторы.
- E-mail: anikinaoksana77@ukr.net.

**Хованец** Владимир Анатольевич – главный обогатитель ЧАО «Полтавский горно-обогатительный комбинат».

Научные интересы:

- повышения качества железорудных концентратов;
- повышение технологических свойств магнетитовых концентратов.

**Лотоус** Виктор Викторович – председатель правления ЧАО «Полтавский горно-обогатительный комбинат».

Научные интересы:

- повышения качества железорудных концентратов;
  - ультразвуковые воздействия.
- E-mail: v.lotous@ferrexpo.ua.

**Равинская** Вита Олеговна – начальник испытательного центра ЧАО «Полтавский горно-обогатительный комбинат».

Научные интересы:

- повышение технологических свойств магнетитовых концентратов;
- повышения качества флотационных концентратов;
- ультразвуковые воздействия.

E-mail: vita.ravinskaya@mine.ferrexpo.com.

Статья поступила в редакцию 05.04.2018.