

4. **Азарян А. А.** Разработка измерительного канала для оперативного контроля содержания железа магнитного во взрывных скважинах / **А. А. Азарян, А. А. Трачук, А. Н. Гриценко, Д. В. Швець** // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. – 2019. – № 32. – С. 138–145.
5. **Швець Д. В.** Розробка системи стабілізації масової долі заліза магнітного у зливні класифікатора та дослідження можливості автоматизації процесу подрібнення залізної руди та підготовки її до збагачення / **Д. В. Швець** // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2014. – С. 252–264.
6. **Азарян А. А.** Перспективы построения систем автоматического регулирования процесса магнитной сепарации на базе погружных анализаторов содержания магнитного железа / **А. А. Азарян, В. Г. Кучер, Д. В. Швець** // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2017. – С. 214–228.
7. **Дрига В. В.** Исследование и классификация факторов снижающих точность непрерывного контроля качества магнетитовых руд / **В. В. Дрига** // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2011. – С. 168–179.
8. **Дрига В. В.** Исследование влияния изменения пространственного расположения рудного материала в магнитном поле накладного индуктивного преобразователя на точность непрерывного контроля качества магнетитовых руд / **В. В. Дрига** // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2011. – С. 64–80.
9. **Цыбулевский Ю. Е.** Исследование влияния физических характеристик материала железосодержащей пробы на размеры индуктивных датчиков. / **Ю. Е. Цыбулевский, А. В. Швыдкий** // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. – Кривой Рог, 2011. – С. 208–212.
10. **Марюта А. Н.** Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик / **А. Н. Марюта, Ю. Г. Качан, В. А. Бунько** – Москва : Недра, 1983 – 277 с.
11. **Марюта А. Н.** Контроль качества минерального сырья / **А. Н. Марюта, П. К. Младецкий, П. А. Новицкий**. – Киев : Техніка, 1976. – 220 с.
12. **Morkun V.** The study of volume ultrasonic waves propagation in the gas-containing iron ore pulp / **V. Morkun, N. Morkun, A. Pikilnyak** // Ultrasonics. – 2015. – Volume 56. – P. 340–343.
13. **Поркуян О. В.** Комбинированный метод определения относительного содержания магнетита в твердой фазе железорудной пульпы / **О. В. Поркуян, Т. Г. Сотникова** // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ". – Харьков, 2010. – № 12. – С. 29–36.
14. **Morkun V.** Investigation of the effect of characteristics of gas-containing suspensions on the parameters of the process of ultrasonic wave propagation / **V. Morkun, N. Morkun, V. Tron, S. Hryshchenko** // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 6, issue 5(90). – P. 49–58.15.
15. **Azaryan A.** Use of Bourger-Lambert-Bera law for the operative control and quality management of mineral raw materials / **A. Azaryan, V. Azaryan** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 1. – P. 4–9. – URL: <https://bit.ly/39L1yFZ>.
16. **Azaryan A.** Research of influence single crystal thickness NaJ (TL) on the intensity of the integrated flux of scattered gamma radiation / **A. Azaryan** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 2. – P. 43–46. – URL: <https://bit.ly/2UMMbbQ>.
17. **Azaryan A.** Complex automation system of iron ore preparation for beneficiation / **A. Azaryan, A. Pikilnyak, D. Shvets** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Issue 8. – P. 64–66. – URL: <https://bit.ly/2Xf1Vpx>.
18. Development of the method to operatively control quality of iron ore raw materials at open and underground extraction / **A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, D. Shvets** // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 5, issue 5 (95). – P. 13–19. – DOI: 10.15587/1729-4061.2018.144003.
19. **Химмельблау Д.** Анализ процессов статистическими методами / **Д. Химмельблау**. – Москва : Мир, 1973. – 958 с.
20. **Фихтенгольц Г. М.** Курс дифференциального и интегрального исчисления / **Г. М. Фихтенгольц**. – Москва : Наука, 1969. – Т. I. – 551 с.
21. **Лавріненко Н. М.** Основи економіко-математичного моделювання : навчальний посібник / **Н. М. Лавріненко, С. М. Латинін, В. В. Фортуна, О. І. Бескровний**. – Львів : Магнолія 2006, 2010. – 540 с.

Рукопись поступила в редакцию 15.04.2020

УДК 622.7.017

Г.Г. ГУБИН, Л.Н. САИТГАРЕЕВ, Т.П. ЯРОШ, кандидаты техн. наук, доценты  
Криворожский национальный университет

## МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА И ФЛОКУЛООБРАЗОВАНИЕ ЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МИНЕРАЛОВ ОКИСЛЕННЫХ РУД

**Цель.** В связи с трудностями магнитного обогащения в сильном поле окисленных кварцитов, которые не позволили получить высокосортные концентраты, авторы провели исследования по изучению магнитных свойств минералов и определили возможность их флокуляции.

**Методы исследования.** Применялись магнитные методы.

**Научная новизна** заключается в получении новых результатов в магнитных свойствах минералов окисленных руд в магнитных полях напряженностью до 800 кА/м.

**Практическая значимость** заключается в разработке технологии флокулирования с целью снижения потерь металла с тонкими шламами крупностью менее 10 мкм.

**Результаты.** Исследованы мономинеральные фракции гематита, мартита, гетита, сидерита и кварца. Из полученных данных следовало, что перечисленные минералы обладают слабовыраженным магнетизмом. При этом необходимо учитывать, что природные минералы и подготовленные мономинеральные фракции не являются абсолютно чистыми материалами. В каждой фракции в большей или меньшей степени присутствует тонковкрапленный магнетит, который не раскрывается даже в классе минус пять микрометров и вносит свою долю в магнитные свойства минералов.

Экспериментальные исследования подтвердили наличие процесса флокулообразования в полях с индукцией 0,5-1 Тл. В продуктах с повышенной массовой долей магнетита (в основном сидерит и гематит крупностью 0,01 мм) в полях напряженностью до 800 кА/м образуются флокулы из частичек магнетита. Притяжение слабомагнитных частиц к ним незначительно. При увеличении индукции поля эти флокулы притягиваются между собой, на них постепенно флокулируют частицы основных слабомагнитных минералов, особенно при напряженности свыше 400 кА/м, а при 800 кА/м образуются уже объёмные агрегаты-флокулы, выстроенные параллельными цепочками в направлении поля. С уменьшением размеров частиц гематита, мартита и гетита притяжение во флокулы происходит при меньших расстояниях между ними. Совместное намагничивание крупных частиц с мелкими несколько облегчает флокулообразование для мелких частиц за счёт образования их флокул с крупными частицами, особенно в поле 800 кА/м.

Полученные результаты объясняют сравнительно низкие качественные показатели обогащения окисленных кварцитов магнитным методом в сильном поле и являются основанием для их улучшения.

**Ключевые слова:** магнитное обогащение, железорудные минералы, флокулы, флокулообразование, намагничивание частиц.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-159-165

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Со временем, как считают геологи, окисленные кварциты станут основной рудной базой Украины. Е.М. Николенко опубликовал данные, из которых следует, что в Кривбассе сосредоточено более 50 млрд т этого типа руд, которые представлены разными стратиграфическими горизонтами Криворожской серии [1].

**Анализ исследований и публикаций.** Уже проведено большое количество исследовательских работ по изучению обогатимости окисленных руд. Выявлены трудности, связанные с их переработкой [2-15].

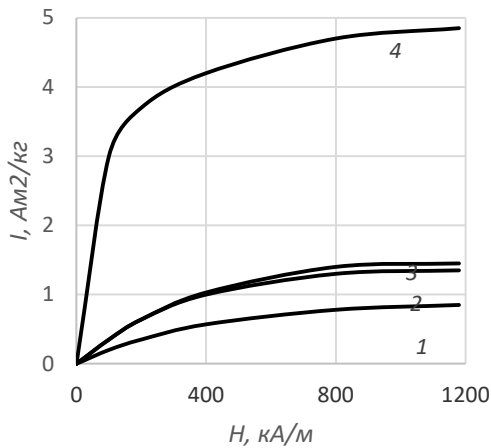
По сегодняшним представлениям все природные минералы окисленных железных руд относятся к антиферромагнетикам и обладают слабовыраженным ферромагнетизмом. Сведения о магнитных свойствах окисленных минералов довольно противоречивы. Г.В. Губин и Г.М. Курочкин исследовали мономинеральные фракции гематита, мартита, гетита, сидерита и кварца на вибрационном магнитометре. Из полученных данных следовало, что перечисленные минералы обладают слабовыраженным магнетизмом. При этом необходимо учитывать, что природные минералы и подготовленные мономинеральные фракции не являются абсолютно чистыми. В каждой мономинеральной фракции в большей или меньшей степени присутствует тонковкрапленный магнетит, который не раскрывается даже в классе  $-5+0$  мкм, и он вносит свою долю в магнитные свойства минералов. Например, в природном кварце содержится от 0,03 до 0,7% магнетита. Именно этим, по мнению исследователей, объясняется то, что намагниченность насыщения тонких классов (менее 10 мкм) кварца больше, чем тот же параметр у мартита и гетита. Остаточная намагниченность и коэрцитивная сила тонких классов кварца соизмерима с теми же параметрами гетита и сидерита. Причем остаточная намагниченность частиц кварца размером 5 мкм в два раза больше, чем остаточная намагниченность частиц гетита такого же размера. Очевидно, что это является одной из причин засорения магнетитовых продуктов тонкоизмельчённым кварцем при магнитном обогащении руды.

Эта работа свидетельствует о неоднозначной зависимости свойств исследованных минералов от крупности.

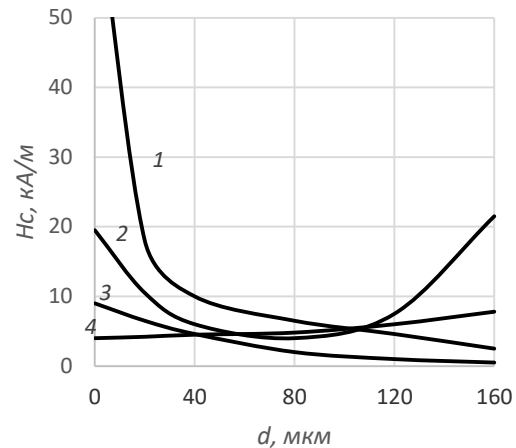
Наиболее ярко эта зависимость проявилась у гематита (рис. 1). Гематит различной крупности, начинает насыщаться при напряженности более 800 кА/м. Магнитные свойства гематита имеют свой пик в классе  $-10+5$  мкм. При дальнейшем уменьшении крупности частиц все магнитные параметры гематита, кроме коэрцитивной силы, уменьшаются. Это говорит о том, что размеры однодоменной структуры гематита находятся в пределах 10 мкм. Во всех классах крупности, кроме  $-5+0$  мкм, нарастание магнитных свойств связано с увеличением массовой доли магнетита в гематите. И только в классе  $-5+0$  мкм происходит резкое снижение магнитных

свойств, что авторы связывают с разрушением однодоменной структуры частиц минерала при измельчении.

Исследования зависимости коэрцитивной силы от крупности показали, что только у мартита она ярко выражена; с уменьшением размера частиц этот параметр достигает наибольшего для всех минералов значения (рис. 2). Такая зависимость характерна для ферромагнетиков, например, магнетита. У гетита такой зависимости нет, а у сидерита с уменьшением крупности, начиная с 40 мкм, коэрцитивная сила увеличивается.



**Рис. 1.** Зависимость удельной намагниченности гематита от напряженности для различной крупности гематита: 1 – 160-45 мкм; 2 – 45-20 мкм; 3 – 20-10 мкм; 4 – 10-0 мкм



**Рис. 2.** Зависимость коэрцитивной силы минералов окисленных железных руд от крупности: 1 – мартит; 2 – гематит; 3 – сидерит; 4 – гетит

Г.В. Губин, И.П. Богданова и Н.Н. Лукьянчиков по результатам обогатимости и технологическим расчетам в зависимости от целесообразной, по их соображениям, технологии обогащения предлагали разделять железные руды на четыре группы:

I – гетито-мартитовые, гетито-гематито-мартитовые, гематито-мартитовые, средне и широкослоистые, мелко- и средневкрапленные, пористые и средней плотности. Эти руды успешно обогащаются по магнитной схеме, а также обжиг магнитным методом. Этот тип руд соответствует категории наиболее легко обогатимых;

II – гематито-мартитовые, гетито-мартитовые, магнетито-гематито-мартитовые с мелкой вкрапленностью минералов. Руды можно обогащать обжигмагнитным методом и по комбинированным магнито-флотационным схемам, включающих 2-3 стадии обогащения. Средне- и тонкослоистые, мелко- и тонковкрапленные гематито-мартитовые руды Скелеватского месторождения с полидисперсным составом рудной и нерудной вкрапленности успешно обогащаются по двухстадиальным магнитно-флотационным схемам с частичным выделением концентратов и хвостов в I стадии магнитной сепарации при флотационном дообогащении промпродуктов. Крупность измельчения этих руд в I стадии 70-80 % класса  $-0,07$  мм, конечная крупность измельчения 95-97 % класса минус  $0,07$  мм. В результате выделяется концентрат с массовой долей железа 61,5-64,5 %. Магнитное обогащение магнетито-лимонито-мартитовых, магнетито-мартитовых руд с дисперсной вкрапленностью магнетита в нерудных слоях становится не эффективным. Можно обогащать такие руды магнитным методом: в I стадии при крупности 60-70 % класса минус  $0,07$  мм с флотационной или гравитационной доводкой промпродукта. Раскрытие этих руд происходит в крупности 100 % класса минус  $0,05$  мм. При обогащении выделяется концентрат с массовой долей железа 60-62 %. Руды II группы можно отнести к категории среднеобогатимых;

III – гетито-мартитовые, мартито-гематитовые с тонкой, весьма тонкой, дисперсной вкрапленностью, плотные и весьма плотные. Обогащение этих руд флотацией даёт удовлетворительные результаты. Они относятся к категории труднообогатимых;

IV – силикато-гематитовые и гетито-силикатные кварциты, в основном гетитовые руды с высоким содержанием силикатов. Они относятся к категории труднообогатимых. Такие руды из-за низкой эффективности обогащения невыгодны для эксплуатации.

Отражая соответствие технологии обогащения природным особенностям руд, предложенная типизация облегчает ориентировочную оценку обогатимости, позволяет принципиально определить технологию обогащения руд различных типов.

В дальнейшем по мере совершенствования технологии обогащения окисленных железных руд приведенные показатели будут уточняться.

В работе [2] приведены результаты исследований кинетических магнитных свойств – время релаксации после снятия поля и изменение удельной магнитной восприимчивости гематита и железных руд при изменении напряжённости поля.

По времени релаксации  $\tau$  можно судить о скорости изменения намагниченности. Чем больше время релаксации, тем медленнее изменяется намагниченность и магнитоустойчивее материал. Наиболее устойчивым, магнитоустойчивым к изменениям намагниченности является гематит; время релаксации составляет более 10 секунд. Мартит по времени релаксации почти одинаков с гематитом, но наибольшая намагниченность его в интервале 1-3 с составляет  $\frac{I_t}{I_r} = 5 - 7$  (где  $I_t$  - остаточная намагниченность за определённое время после отключения электромагнита,  $I_r$  - остаточная намагниченность,  $\tau$  - время релаксации процесса, характеризующее скорость стремления намагниченности к равновесному состоянию). Менее устойчивыми во времени оказались гидроксиды железа ЮГОКа, время релаксации составило 8 с. Намагниченность их заметно увеличивается в интервале 1-3 с и составила  $\frac{I_t}{I_r} = 2 - 5$ .

Красковая руда и гетит по времени релаксации близки,  $\tau=6$  с. Наибольшая намагниченность гетита  $\frac{I_t}{I_r} = 3 - 5$  сохраняется в интервале времени 1-4 с. Наибольшая намагниченность для красковой руды  $\frac{I_t}{I_r} = 2 - 4$  сохраняется в том же интервале времени. Магнетит наименее устойчив к изменению намагничивающего поля. Он является магнитомягким минералом, его, время релаксации составляет 4 с. Это явление наиболее заметно в полях, превышающих поле насыщения магнетита (100 кА/м). Для смеси мартита с магнетитом, а также окисленной руды шахты им. Валявко время изменения намагниченности соответствует чистому магнетиту. Максимальная намагниченность этих минералов  $\frac{I_t}{I_r} = 3 - 9$  сохраняется в интервале 1-4 с.

В этой работе определены зависимости  $\frac{I_t}{I_r}$  от крупности минерала для минералов окисленных руд в первую и седьмую секунды после снятия магнитного поля. Максимум на кривых для гематита соответствует 0,09-0,16 мм, для мартита – при 0,008-0,024 мм, для гетита при  $H=80$  кА/м наблюдается перегиб при 0,030-0,056, а при  $H=400$  кА/м – для 0,010-0,025 мм. Небольшой максимум и резкий подъём после 0,045 мм. Таким образом, для  $\alpha$ -гематита существует два максимума намагниченности, определяемые его генетическими особенностями. Для собственно гематита оптимальной по извлечению следует считать крупность 0,10-0,16 мм, для псевдоморфного гематита (мартита) – 0,008-0,024 мм. Сравнивая опытные данные по предварительному намагничиванию минералов при напряженности поля 400 и 80 кА/м, можно видеть, что при 400 кА/м намагниченность в первые секунды несколько выше, чем в поле 80 кА/м.

Следовательно, данные материалы целесообразно вводить в режим магнитного насыщения перед их разделением. Предварительное намагничивание способствует появлению ориентационных сил и магнитной флокуляции тонкозернистых слабомагнитных материалов. При этом у гематита вследствие большого времени релаксации флокуляция будет продолжаться и после снятия намагничивающего поля.

При всех условиях эффективность предварительного намагничивания для гематита выше, чем для мартита. При напряженности магнитного поля 40-80 кА/м выход магнитной фракции гематита увеличивается на 21 %, мартита и гетита – на 8-12 %. При времени действия магнитного поля наблюдаются два максимума. Первый соответствует времени 2-7 с и объясняется изменением спонтанной намагниченности минералов под воздействием направленного магнитного поля. Второй отмечается в интервале 30-60 с и связан с магнитной флокуляцией тонкодисперсных зёрен минералов. Влияние предварительного намагничивания наблюдается на разбавленных пульпах при отношении Т:Ж не более 1:3. Таким образом, предварительная магнитная обработка минералов окисленных кварцитов с использованием кинетических их свойств способствует улучшению разделения минералов в полях высокой напряжённости.

При выполнении работы по обогащению окисленных кварцитов основной задачей явилось изучение возможности селективной флокуляции минеральных частиц с целью улучшения качества концентратов.

**Изложение материала и результаты.** Авторами этой статьи изучен процесс флокулообразования окисленных кварцитов под микроскопом в однородном магнитном поле напряжённостью до 800 кА/м на частицах узких классов крупности.

В продуктах с повышенной массовой долей магнетита (в основном сидерит и гематит крупностью 0,01 мм). В полях напряжённостью до 800 кА/м образуются флокулы из частичек магнетита. Притяжение к ним слабомагнитных частиц незначительное. При увеличении индукции поля эти флокулы притягиваются между собой, на них постепенно флокулируют частицы основных слабомагнитных минералов, особенно при напряжённости выше 400 кА/м, а при напряжённости 800 кА/м – это уже объёмные агрегаты-флокулы из магнетитовых частиц, окружённые частицами основных минералов, выстроенные параллельными цепочками в направлении поля. Чем меньше массовая доля магнетита, тем меньше этих флокул и агрегатов и тем меньше их длина.

Флокулообразование частиц слабомагнитных минералов изучено на отдельных частицах и их совокупности при расстоянии между центрами 1,3-2,2 диаметра частиц, что соответствует 60-20 % твёрдого в пульпе. При напряжённости 40-80 кА/м происходит разворот частиц лёгкой осью намагничивания вдоль направления поля. Причем частицы гематита и гетита устанавливаются преимущественно по длинной оси перпендикулярно направлению поля, что говорит о существующем направлении легкой оси намагничивания.

Для частиц гематита крупностью 100 мкм в поле напряжённостью 400 кА/м притяжение начинается при расстоянии около  $1,5 d$ . В поле напряжённостью 640-800 кА/м притяжение во флокулы начинается с расстояния около  $2 d$ . Частицы гетита крупностью 100 мкм притягиваются примерно с тех же расстояний, несмотря на более низкую намагниченность, что обусловлено лучшим взвешиванием в тяжелой жидкости и меньшими силами трения о дно кюветы. Частицы мартита притягиваются с расстояний, примерно на 30 % больших. С уменьшением размеров частиц гематита, мартита и гетита притяжение во флокулы происходит при меньших расстояниях между ними. Так, для частиц крупностью 50 мкм относительное расстояние притяжения  $r/d$  (где  $d$  – диаметр частиц,  $r$  – расстояние притяжения между частицами) примерно на 40 % меньше, чем для крупности 100 мкм. Для мартита и гетита крупностью 25 мкм относительное расстояние примерно в два раза меньше, чем для крупности 200 мкм.

Для частиц гематита крупностью 25 мкм относительное расстояние притяжения только на 10 % меньше, чем для крупности 100 мкм, что обусловлено ростом намагниченности мелких частиц.

Следует отметить, что некоторые частицы не притягиваются во флокулы в поле 800 кА/м даже с расстояния  $1/3 d$ . Это обусловлено, по-видимому, поверхностным магнетизмом.

Совместное намагничивание крупных частиц с мелкими несколько облегчает флокулообразование для мелких частиц за счет образования их флокул с крупными, особенно в поле 800 кА/м.

Некоторые результаты исследований приведены на рис. 1 и 2.

Так как вязкость жидкости Клеричи в 500 раз больше, чем вязкость воды, численные значения относительных расстояний притяжения будут немного отличаться от полученных экспериментальных данных. Важность эксперимента состоит, прежде всего, в подтверждении процесса флокулообразования частиц слабомагнитных минералов. Эти данные свидетельствуют о реальности флокулообразования и были использованы «Механобрчерметом» для создания флокулятора и нахождения оптимальных условий магнитного обогащения с использованием предварительной флокуляции.

После снятия магнитного поля при вибрации флокулы разрушаются, что свидетельствует о необходимости непосредственного соединения флокулятора и магнитного сепаратора.

Таким образом, исследованы магнитные свойства слабомагнитных минералов, и показано, что магнитные характеристики зависят как от магнитных свойств основных минералов, так и от присутствия в них магнетита.

Получена неоднозначная зависимость магнитных характеристик от крупности частиц. Для гематита максимум удельной магнитной намагниченности наблюдается при крупности минус

10÷5 мкм, что свидетельствует об однодоменности частиц в этой области. Определено магнитное поле, при котором происходит флокулообразование: 90 и 450 кА при плотности твердого в питании соответственно 9 и 25 %. Рассчитано расстояние, начиная с которого происходит притяжение частиц во флокулы: при индукции 1 Тл оно составляет 3-1,5 диаметра частиц, уменьшаясь в ряду сидерит, гематит, мартит, гётит, кварц.

Экспериментальные исследования подтвердили наличие процесса флокулообразования в полях с индукцией 0,5-1 Тл.

Лабораторные испытания окисленных железных руд ЦГОКа и НКГОКа на сепараторах роторного и карусельного типов показали, что после предварительного намагничивания возможно повышение качества концентратов при незначительном снижении выхода. Улучшение показателей обогащения происходило за счет более полного извлечения тонких классов (-10 мкм) железосодержащих минералов в концентрат.

Показано, что магнитную флокуляцию предпочтительно использовать перед первой стадией обогащения в схемах обогащения с сепараторами роторного типа при индукции намагничивания 1,4 Тл.

Таким образом, из изложенных материалов статьи следует, что имеются дополнительные возможности повышения эффективности высокоградиентной магнитной сепарации железистых окисленных кварцитов.

#### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

1. Следует учитывать различие магнитных свойств минеральных частиц окисленных минералов при разработке сепараторов и технологических схем обогащения.
2. Имеется дополнительная возможность повышения качества концентратов полиградиентной магнитной сепарации за счёт использования явления флокулообразования частиц минералов окисленных руд.

#### *Список литературы*

1. **Николенко Е.М.** О стратегии развития геолого-разведочных работ в Криворожском железорудном бассейне // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2013. – №7. – С. 115-117.
2. **Грицай Ю.Л., Герасимова З.Ф., Богданова И.П.** Исследование изменения магнитных свойств минералов окисленных железных руд после намагничивания. Обогащение руд черных металлов. М. «Недра». – 1976. – С. 73-81.
3. **Г.І. Рудько, О.В. Плотніков, С.В. Радованов.** Геологія окислених кварцитів залізорудних родовищ Криворізького басейну. Київ – 2013. – 392 с.
4. **О.В. Плотніков, М.Ю. Токар, Л.І. Конопацька/** Звіт по НДР. – АГН України. – 2011. – 175 с.
5. **В.Д.Євтехов, С.В. Євтехов, В.В. Філенко/** Отчеты НИР. - КТУ – 209. – 175 с.
6. Испытания в полупромышленных условиях магнитно-флотационной технологии обогащения окисленных руд КГОКОРа (заключительный). Отчёт о НИР/ «Механобрчермет»; Руков. работы **Т.Б. Гадзенко.** – Кривой Рог, 1993. –53 с.
7. Испытания в полупромышленных условиях технологии измельчения и магнитного обогащения окисленных железных руд ИнГОКа: Отчёт о НИР / «Механобрчермет», Руков. работы **Л.Н. Лесянский.** – Кривой Рог, 1991. – 92 с.
8. **Плотников О.В.** Геологічні чинники економічної цінності залізорудних родовищ в докембрійських залізисто-кременистих формаціях Українського щита: Автореф. дис. ...д-ра геол. наук. – Київ, 2002. – 28 с.
9. Применение высокоинтенсивных магнитных сепараторов для доизвлечения слабомагнитных окислов железа из хвостов обогащения// *Экспресс-информация УНИИТЭН ЧМ. Серия Обогащение руд.* Вып.11 –М., 1982. – С.1-5.
10. Селективная флокуляция шламов окисленных железистых кварцитов Михайловского месторождения с применением активной кремнекислоты/**Л.А. Барский, Э.А. Шрадер, С.А. Степанов** и др.// *Комплексное освоение месторождение бассейна КМА. Сб. науч. Тр. Ин-та проблем компл. освоения недр АН СССР.* –М., 1990. – С.129-138.
11. **Бартник Е.А., Висмут Г.Д.** Обогащение мартитизированной железной руды с применением высокоинтенсивных сепараторов Джонс, работающих в мокром режиме.// *Erzmetall,* 1985.–№5.–р.243-249.
12. Наладка и освоение техники и технологии обогащения окисленных железных руд на реконструированной секции №4 ЦГОКа с целью повышения производительности и качества концентрата: Отчёт о НИР/Рук. работы **Нотвич Г.И.,** Механобрчермет, Кривой Рог, 1993.–63 с.
13. **Ширяев А.А., Величко Ю.В., Ботвинников В.В.** Особенности технологии подготовки и обогащения окисленных железистых кварцитов со стадийным выделением концентрата./ *Металлургическая и горнорудная промышленность,* 2005г., №4, С. 86-88.
15. **Соколова В.П., Зима С.Н., Воробьёв Н.К.** Исследование раскрытия минеральных фаз окисленных железных руд в связи с выбором рациональной технологии обогащения /Сб.тр. КТУ. Разработка рудных месторождений, №83, 2003г. – С.105-109.

16. Соколова В.П., Габура А.В. К вопросу обогащения окисленных железных руд Ингулецкого месторождения /Сб.тр. КТУ. Разработка рудных месторождений, №84, 2003г. – С.153-158.

Рукопись поступила в редакцию 15.04.2020

УДК 681.03

І.Н. ВДОВИЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент  
Криворізький національний університет

## СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ CLICKHOUSE - КОЛОНОЧНОЇ СУБД ДЛЯ ONLINE ОБРОБКИ АНАЛІТИЧНИХ ЗАПИТІВ

**Мета.** Проведення системного аналізу СУБД ClickHouse. Оцінка доцільності використання її у аналітичних системах.

**Методи дослідження.** У роботі використані: метод експертних оцінок, статистичні та аналітичні методи, комп'ютерні інформаційні та програмні технології. Залучення методів системного аналізу для вирішення проблем необхідно, перш за все, тому, що в процесі прийняття рішень доводиться здійснювати вибір в умовах невизначеності, яка обумовлена наявністю факторів, що не підлягають адекватній кількісній оцінці.

**Наукова новизна.** Проаналізовано сучасні потреби аналітичних обробок інформації, відмічено необхідність зберігати, аналізувати, перетворювати трильйони записів і петабайти даних. У роботі досліджено бази даних стовпчикového типу в цілому, інструменти для керування ними та їх переваги і недоліки. Предметом дослідження є система управління базами даних стовпчикového типу ClickHouse.

**Практична значимість.** При переході від рядкових СУБД до колоночних СУБД вираш у часі обробки запитів майже в 100 тисяч разів.

**Результати.** Було проведено аналіз будови СУБД ClickHouse, визначено можливості та особливості об'єкту, з'ясовано структурні особливості, які потенційно допомогли б впровадити її у роботу. Розглянуто показники, за якими оцінюють сучасні програмні продукти класу баз даних, виявлено основні можливості СУБД ClickHouse, порівняння її з іншими подібними інструментами, означено переваги і основні недоліки перед конкурентними продуктами галузі. У роботі конкретизовано характеристики колоночних СУБД. Представлено результати тестування колоночних СУБД. Запропоновано приклад для перевірки використання SQL для колоночних БД. Обґрунтовано доцільність переходу від рядкових БД до колоночних. Розглянуто спосіб зберігання інформації в ClickHouse. Виконуючи системний аналіз СУБД ClickHouse було отримано характеристики, на базі яких можна зазначити, що дана СУБД – це перспективний, швидкісний напрям, що розвивається, має великі можливості застосування, як самостійне ПЗ, так і в таких технологіях, як Big Date, Data Mining та інших.

**Ключові слова:** бази даних, колоночні СУБД, аналітичні запити, системний аналіз, швидкість.

doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-165-169

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Актуальність теми дослідження полягає у тому, що інформатизація майже усіх галузей призводить до стрімкого росту об'єму даних, які потрібно зберігати, аналізувати, перетворювати у людино-зрозумілий вигляд і надавати для подальших дій. Раніше із цими задачами могли справлятися реляційні «горизонтальні» бази даних - тобто бази, у яких інформація на фізичному рівні розташовувалася по рядках. З об'ємами даних, які наразі визначають основні вимоги до сховища даних, таким базам даних впоратися не під силу, тому постають питання:

використання іншого типу баз даних - «вертикальних», які дозволяють зберігати і швидко отримувати дуже великі об'єми даних;

вибір найбільш зручної системи управління такою базою даних.

Одним із інструментів, що вирішують ці питання, є ClickHouse - стовпчикова СУБД від компанії Яндекс, що була розроблена для задоволення потреб аналітичної системи компанії.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Найчастіше тема СУБД ClickHouse піднімається на конференціях і в спец. лекціях для розробників ПЗ. Розглядаються принципи роботи систем аналітики, особливості збору і обробки даних та структуру СУБД ClickHouse. Література пропонує всілякі тестові аналізи і порівняння сучасних колоночних СУБД.

**Постановка задачі.** Об'єктом дослідження є бази даних стовпчикového типу в цілому, інструменти для керування ними та їхні переваги і недоліки.