

**О.В. БУЛАХ**, канд. техн. наук, **О.О. БУЛАХ**  
(Україна, Кривий Ріг, Криворізький національний університет)

## **МОЖЛИВІСТЬ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ КОНЦЕНТРАТУ ПРИ ЗБАГАЧЕННІ ОКИСЛЕНИХ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ КРИВБАСУ**

В процесі видобування залізної руди на родовищах Кривбасу, утворилися величезних розмірів техногенні родовища окислених залізистих кварцитів, що з кожним днем стають все більшими і несуть за собою негативний вплив на екологію Кривбасу. Водночас запаси магнетитових кварцитів стають все меншими, а глибина їх видобування все глибшою.

Дана проблема дає змогу переосмислити процес збагачення із залученням в переробку окислених залізистих кварцитів. Окислені залізисті кварцити Кривбасу містять в собі такі мінерали як: гематит, гетит, мартит, гідрогетит і частково навіть магнетит, що є перспективною сировиною для розширення чорної металургії. З усього обсягу відходів в країні, три чверті припадають на гірничо-збагачувальні підприємства (приблизно 4 млрд т), 45-46% припадає на фабрики, що перероблюють залізовмісну сировину.

Подальший розвиток залізорудної бази Кривбасу буде пов'язаний з переробкою заскладованих окислених залізистих кварцитів, та тих, що попутно видобуваються з магнетитовими кварцитами.

Кількісне співвідношення головних рудних мінералів в рудах складає: гематит 30-60%, магнетит 1-12%, мартит 20-65%, гетит 3-20%. Вкрапленість рудних зерен коливається в межах від 0,001 до 0,1 мм. На сьогодні не існує промислового використання цих руд як сировинної бази для подальшої переробки.

На сьогодні, в результаті експлуатації руд родовищ Кривбасу, відомо, що величезні хвостосховища вивітрюються, тим самим забруднюючи навколишнє середовище та своєю наявністю вони займають величезні земельні площі. Виходячи з того, що заскладована руда вимагає нових витрат на її транспортування до фабрики і наступне усереднення, то найбільш економічною є схема, що передбачає збагачення окислених залізистих кварцитів, що попутно видобуваються, паралельно з магнетитовими.

Вперше дослідження з розробки технології збагачення окислених залізистих кварцитів в Україні відносять до початку 90-х років ХХ століття.

У зарубіжній практиці підготовка при збагаченні бідних окислених та змішаних залізних руд (тонко-, середньо- і крупнозернистих), а також багатих "землистих" руд застосовують в більшості самоподрібнення (сухе та мокре), за умови що млини працюють в замкненому циклі з вібраційними грохотами. У результаті збагачення вихідних бідних окислених та змішаних руд отримують гематитові концентрати із масовою часткою заліза 65-66 та 5-6% кремнезему. Здебільшого досягається достатньо велике вилучення заліза в концентрат (76-85%) [1].

## **Загальні питання технології збагачення**

В Україні був розроблений проект для переробки окислених залізистих кварцитів, але по причині фінансової недостатності, будівництво Криворізького гірничо-збагачувального комбінату окислених руд було призупинене. Планувалося що КГЗКОР буде працювати з продуктивністю 30,0 млн т/рік. В якості головного технологічного обладнання, передбаченого для збагачення окислених залізистих кварцитів Кривбасу, був прийнятий сепаратор 6ЭРМ 35/315. Промислова перевірка сепаратора була проведена на ЦГЗК, де декілька років був введений в експлуатацію даний сепаратор [2, 3].

За результатами випробувань вилучення гематиту в концентрат складає в межах 75%, а гідроксидів заліза – 44%, ефективність збагачення класу -0,01 мм на сепараторі 6ЭРМ 35/315 не перевищує 5% [4].

Підвищення якості залізородного концентрату при переробці окислених залізистих кварцитів Кривбасу сприятиме інтенсифікації доменного виробництва. Однак, підвищення якості концентрату за проектною схемою КГЗКОРу супроводжується переподібненням рудних мінералів і частковою їх втратою у відходах виробництва. При цьому погіршується і технологічні властивості руди при збагаченні та фільтруванні. Одним з напрямків підвищення якості концентрату, отриманого з окислених залізистих кварцитів та поліпшення їх технологічних властивостей для подальшого переділу є виділення шламової частини подрібненої руди у відвал і дозбагачення знешламленого продукту за рахунок застосування магнітних сепараторів у слабкому і сильному полях. Збільшення масової частки заліза в концентраті сприяє зменшенню його питомої поверхні, підвищенню швидкості фільтрування і газопроникненості при огрудкуванні.

Було випробувано процес мокрої магнітної сепарації в сильному полі для тонковкраплених таконітів штатів Міннесота і Мічиган (США), дуже близьких за складом окисленим кварцитах Кривбасу. Ці руди вимагають для розкриття рудних мінералів дуже тонкого подрібнення, а як правило, містять землистий гематит і гетит. При їх подрібненні зазвичай утворюється велика кількість шламів, що погіршують показники збагачення. Гематит в рудах часто містить на поверхні сліди магнетиту, але гетит (більш слабомагнітний матеріал, ніж гематит), як правило, вільний від феромагнітних мінералів. Тому селективність процесу магнітної сепарації порушується, що знижує якість концентрату і витяг заліза в концентрат. Це положення підтверджується проектною технологічною схемою КГЗКОР [5].

Проектною схемою переробки окислених залізистих кварцитів на КГЗКОРі передбачено отримання магнітного концентрату із масовою долею заліза 61% при вилученні 70% [6]. На сьогодні для гідної конкуренції на міжнародному ринку залізної сировини вміст цінного компоненту в концентраті повинен перевищувати 65%. Це спричиняє створення більш ефективної техніки і технології переробки окислених залізистих кварцитів на сепараторах вітчизняної конструкції.

На основі вище викладеного, були проведені дослідження з магнітного збагачення окислених залізистих кварцитів Кривбасу із попереднім знешламленням подрібненого матеріалу у гідроциклонах із кутом конусності 5 градусів, що дасть змогу отримувати конкурентоспроможний концентрат.

## Загальні питання технології збагачення

Знешламлення подрібненої руди перед збагаченням значно підвищує якість магнітного продукту, при цьому знижуються втрати заліза загального в немагнітному продукті.

Враховуючи особливості фізичних властивостей окислених залізистих кварцитів та їх мінеральний склад, а також зміна його по класах крупності в процесі подрібнення було запропоновано варіант видалення шламів перед збагачувальним переділом. Один із способів здійснення даного варіанту при напівпромислових випробуваннях передбачає дешламацію, що здійснюється за допомогою гідроциклонів і дешламаторів.

Були проведені порівняльні випробування магнітного збагачення окислених залізистих кварцитів злива класифікатора, пісків гідроциклона і пісків дешламатора.

Таблиця 1

Результати порівняльних випробувань магнітного збагачення окислених залізистих кварцитів злива класифікатора, пісків гідроциклона і пісків дешламатора (1 стадії збагачення)

Класи крупності, мм	Вихідна руда, %			Технологічні показники, %					
	Вихід	Масова доля Fe	Вилучення	Магнітний продукт			Хвости		
				Вихід	Масова доля Fe	Вилучення	Вихід	Масова доля Fe	Вилучення
<b>Злив класифікатора</b>									
+0,074	30,2	35,9	30,9	21,7	46,2	28,6	8,5	9,5	2,3
-0,074+0,044	15,0	42,6	18,2	9,4	58,9	15,8	5,6	15,0	2,4
-0,044+0,020	29,0	35,2	29,1	13,4	54,6	20,8	15,6	18,7	8,3
-0,020+0,010	14,8	24,0	10,1	3,8	50,8	5,5	11,0	14,7	4,6
-0,010	11,0	37,2	11,7	7,3	46,2	9,6	3,7	19,9	2,1
Всього	100	35,1	100	55,6	50,7	80,3	44,4	15,6	19,7
<b>Піски гідроциклона</b>									
+0,010	95,0	35,3	94,8	47,3	59,1	79,0	47,7	11,7	15,8
-0,010	5,0	36,9	5,2	3,0	52,3	4,4	2,0	13,5	0,8
Всього	100	35,4	100	50,3	58,7	83,4	49,7	11,8	16,6
<b>Піски дешламатора</b>									
+0,010	77,7	32,2	75,0	33,7	52,3	52,8	44,0	16,9	22,2
-0,010	22,3	37,4	25,0	13,9	48,6	20,2	8,4	18,9	4,8
Всього	100	33,4	100	47,6	51,2	73,2	52,4	17,2	27,0
<b>Знешламлений пісок</b>									
+0,010	92,4	35,0	92,1	46,9	57,4	76,7	45,5	11,9	15,4
-0,010	7,6	36,3	7,9	4,6	49,6	6,5	3,0	16,4	1,4
Всього	100	35,1	100	51,5	56,7	83,2	48,5	12,2	16,8

Піски дешламатора по збагачуваності дещо краще незнешламленої руди, але гірше пісків гідроциклона. Застосування схеми знешламлення зливу класифікатора першої стадії подрібнення в дешламаторах економічно не доцільне через низьке питоме навантаження на знешламлюючий апарат (0,012-0,022 т/м·год).

З цією метою були проведені дослідження по розробці більш ефективної і економічної схеми знешламлюючих пристроїв.

## **Загальні питання технології збагачення**

На підставі раніше проведених досліджень конструкцій гідроциклонів відомо, що при зменшенні кута конусності гідроциклонів гідравлічний опір знижується. Внаслідок цього збільшується об'ємна продуктивність при одному і тому ж тиску на вході.

Незважаючи на те, що тангенціальна швидкість в гідроциклонах з малим кутом конусності менше, ніж з великим, за інших рівних умов час перебування зерен у внутрішньому потоці більше. В результаті крупність зливу із зменшенням кута конусності гідроциклонів зменшується, ніж при великих кутах конусності. Тому, для скидання шламів за допомогою гідроциклонів проведені випробування на гідроциклонних установках з кутами конусності 5, 20 і 90°. Випробування проводилися на гідроциклоні, діаметром циліндричної частини 40 мм. Тиск на вході пульпи в гідроциклон становить 1,5 кг/см еквівалентний діаметр живильного патрубку 8 мм, діаметр піскової насадки 3,5 мм, діаметр зливного патрубку 10 мм [7].

Як показали експериментальні дослідження, застосування гідроциклонів з кутом конусності 5° забезпечує ефективне відділення шламів (табл. 2).

Виділення шламів перед електромагнітною сепарацією забезпечить стабільне отримання по співвідношенню твердого: рідкого живлення електромагнітного сепаратора.

*Таблиця 2*

Показники гідравлічної дешламації окисленої залізної руди в гідроциклонах з різними кутами конусності

Кут конусності, градус°	Продукти класифікації	Продуктивність, кг/м <sup>3</sup>	Вихід твердого, %	Масова доля класу -0,01 мм, %
5	Злив	0,64	7,9	88,6
	Піски	0,16	92,1	4,3
	Вихідний	0,8	100	11,0
20	Злив	0,6	11,5	66,4
	Піски	0,08	89,5	3,8
	Вихідний	0,68	100	11,0
90	Злив	0,48	17,8	39,2
	Піски	0,03	82,2	4,9
	Вихідний	0,51	100	11,0

За результатами випробування збагачення окислених залізистих кварцитів Кривбасу рекомендована технологічна схема магнітної сепарації з попереднім знешламленням в гідроциклонах із кутом конусності 5 градусів (рисунок).

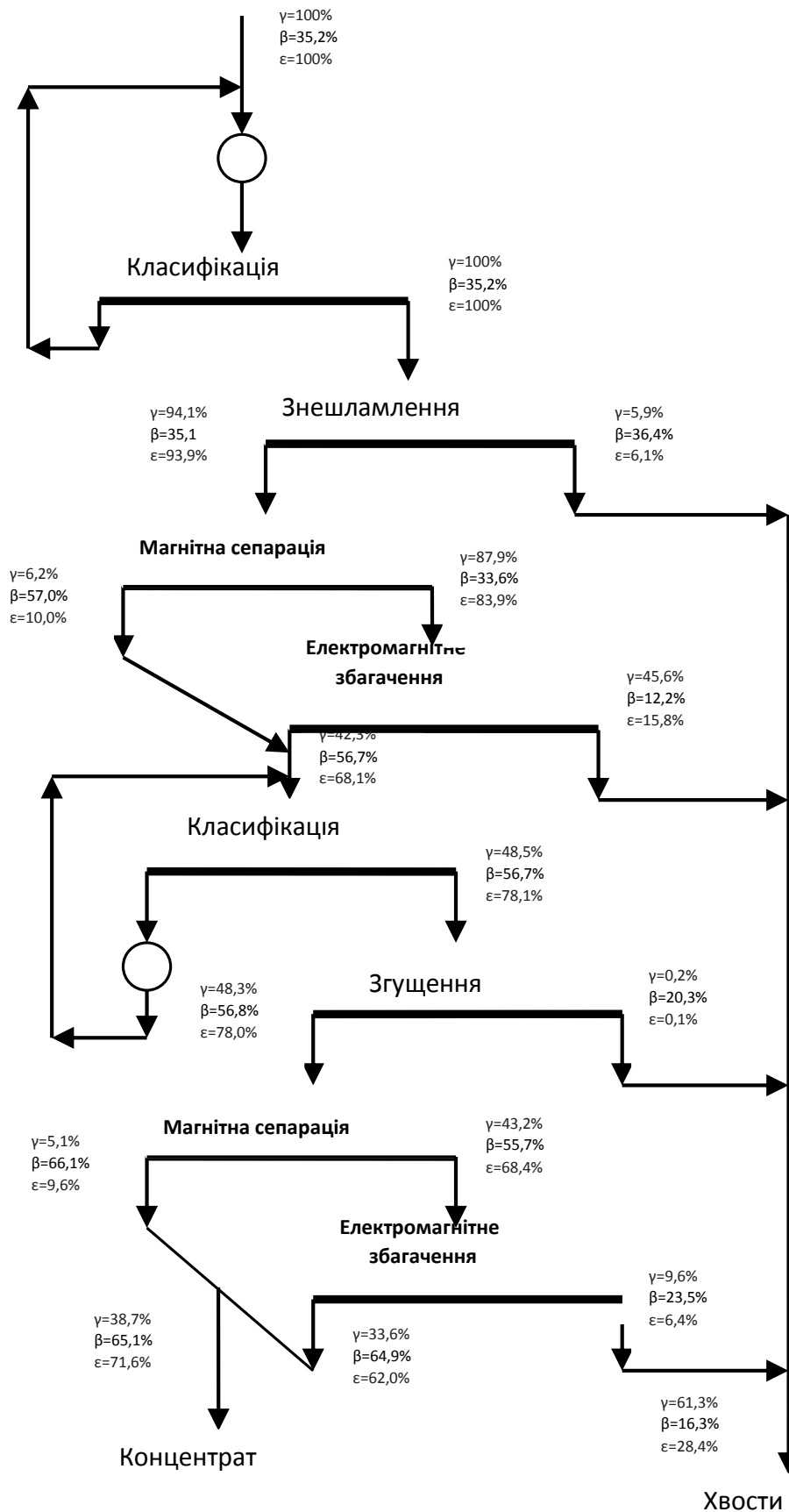
Дана технологічна схема дозволяє отримання залізорудного концентрату з масовою долею заліза 65,1% і вилученням 71,6% [7].

Рекомендована схема дозволить вирішити питання продажу залізорудного концентрату і обкотишів на внутрішньому та зовнішньому ринках.

За результатами напівпромислових випробувань дешламації зливу класифікатора і подальшим збагаченням магнітною сепарацією в сильному полі отриманий концентрат з масовою часткою заліза 65,1%. В якості дешламуючого пристрою рекомендований гідроциклон з кутом конусності 5 градусів при відповідному співвідношенні розвантажувальних насадок. Операцію знешламлення мож-

## Загальні питання технології збагачення

ливо проводити перед магнітною сепарацією в слабкому полі, (за даними напів-промислових випробувань), але і перед електромагнітною сепарацією.



## **Загальні питання технології збагачення**

---

### **Список літератури**

1. Остапенко П.Е. Обогащение железных руд. – М.: Недра, 1977. – 274 с.
2. Пирогов Б.И. Геолого-минералогические факторы, определяющие обогатимость железистых кварцитов. – М.: Недра, 1969. – 210 с.
3. Кармазин В.И., Мостепан Л.Ф., Левченко К.А. О повышении эффективности высокоградиентного обогащения илистых фракций окисленных железистых кварцитов ЦГОКа при использовании сетчатой матрицы с вертикальным намагничиванием // Современное состояние и перспективы развития техники и технологии магнитного обогащения руд и материалов. – Кривой Рог, 1994. – С. 29-30.
4. Гвоздик В.С. Экспериментальное наблюдение при механическом воздействии на гематит и кварц // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ, 2002. – С. 86-89.
5. Булах А.В., Корниенко О.А. Технические решения высокоэффективного обогащения окисленных железистых кварцитов Кривбасса // Горный вестник. – 2012. – Вып. 95(1). – С. 293-297.
6. Малый В.М., Ганзенко Т.Б., Титлянов Е.А. Разработка технологии обогащения окисленных железных руд // Обогащение слабомагнитных руд черных металлов. – М.: Недра, 1984. – С. 12-16.
7. Разработка рациональной технологии переработки окисленных железистых кварцитов с целью повышения экономичности обогатительного передела: отчет о научно-исследовательской работе / Н.К. Кравцов, В.Н. Тарасенко, О.А. Булах и др. – Кривой Рог: КТУ, 2001. – 67 с.

© Булах О.В., Булах О.О., 2013

*Надійшла до редколегії 12.02.2013 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. Т.А. Олійник*