

УДК 622.7.533.494

**Т.А. ОЛІЙНИК (д-р техн. наук, проф.)****Л.В. СКЛЯР (канд. техн. наук, доц.)**

Криворізький національний університет, Кривий Ріг

### ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ РОЗКРИТТЯ МІНЕРАЛІВ ПРИ ПОДРІБНЕНІ ЖОВНОВИХ ФОСФОРИТОВИХ РУД

У статті викладені результати вивчення особливостей речовинного складу жовнових фосфоритових руд Волинської області, лабораторні дослідження по подрібненню руди та розкриттю зростків.

**Ключові слова:** жовнові фосфорити, речовинний склад, подрібнення, кінетика розкриття кульовий млин,стрижневий млин.

**Проблема та її зв'язок з науковими чи практичними завданнями.** Фосфоритові руди є основним джерелом для виробництва фосфорних добрив і фосфору. Промисловість України і сільське господарство розвиваються в умовах дефіциту фосфорної сировини. В Україні на даний час використання добрив в сільському господарстві знизилося в порівнянні з 1990 роком в 10 разів, і фосфорвміщуючих більш ніж в 20 разів. З ґрунту з урожаєм виноситься щорічно живильних речовин в 6 разів більше, ніж вноситься з мінеральними добривами. Постачання добрив на внутрішній ринок знизилася з 70,5 до 15%. Потреба України у фосфатній сировині на перспективу до 2010 року складає 1,5 млн. т, за даними сільхозхімії Україні необхідно 2,5 млн. т фосфатної муки, потреба в цьому виді добрив не закрита. З метою розробки технологічно обґрунтованих схем отримання фосфатного концентрату встає необхідність глибокого і усестороннього вивчення вітчизняної фосфатної сировини.

**Аналіз досліджень і публікацій.** До теперешнього часу основним постачальником фосфатної сировини були родовища Росії і Казахстану. За останні роки знизилася об'єми апатитового концентрату на ВАТ «Апатит» більш ніж в 2 рази, виробничі потужності ВАТ «Фосфати» склали 331,6 тис. т  $P_2O_5$ , Верхнекамського фосфоритового копальні 131,7 тис. т  $P_2O_5$ . Удвічі менше проектної продукції випускає ВАТ «Фосфорити» в Росії [1-2]. Із-за високих цін на добрива і низької купівельної здатності вітчизняних сільгоспвиробників потреба внутрішнього ринку задовольняється лише на 10-15%. Разом з тим на Україні є ряд родовищ фосфатної сировини, освоєння яких дозволить частково закрити потребу країни в даній продукції. Зараз виявлено фосфорвміщуючі райони Волинської, Донецької, Деснянської і Причорноморської областей. Фосфорвміщуючі руди характеризуються низьким вмістом  $P_2O_5$ , складним мінеральним складом, тонким взаємним проростанням фосфату, наявністю глинистих речовин і розчинних з'єднань. Потреби сільського господарства могли бути істотно задоволені завдяки освоєнню вітчизняних родовищ фосфоритів, виробництву фосфоритової муки з них і фосфорвміщуючих органічних мінеральних добрив.

Збагачення жовнових фосфоритів розвивалося в наступних напрямках:

- розробка технології збагачення і випалення з отриманням концентрату для азотнокислого розкладання;
- розробка випал-флотаційного і збагачення, магнітно-флотації митої руди, з отриманням концентрату для сірчано-кислого розкладання;
- розробка технології збагачення відходів промивки з отриманням фосфатної муки;

– розробка схеми і режиму збагачення фосфоритової руди з отриманням високоякісного концентрату і фосфатної муки [3].

Характерною особливістю жовнових фосфоритів є виборча дезинтеграція їх в процесі подрібнення. Ця властивість жовнових фосфоритів використовується при розробці технології первинного збагачення. Крупність подрібнення жовен обмежують на практиці 0,16 мм, примиряючись з наявністю певної кількості зростків [4,5].

**Постановка задач досліджень.** Основними завданнями, що вирішуються в ході виконання роботи є:

- вивчення особливостей речовинного складу жовнових фосфоритових руд;
- вивчення подрібнення жовнових фосфоритових руд.

**Викладення матеріалу і результати.** Для досліджень речовинного складу і збагачуваності використовувалася проба пісчано-гравійно-галечної суміші фосфатних пісковиків, гранітоїдів і кварцового піску ділянки «Вижевській» Волинської області з масовою часткою  $P_2O_5$  4,9%. Основні мінерали в рудах: франколіт, кварц і польові шпати. Кварц є основним мінералом пісковиків. Велика частина зерен уламкового кварцу тріщинувата. Мікротріщини часто заповнені глинисто-фосфатною речовиною. Зерна часто містять тонкі включення змінених біотиту і амфіболів. Мікротріщини заповнені глинисто-фосфатною речовиною. Головною особливістю руд є те, що фосфати концентруються в цементі фосфатних пісковиків у вигляді тонкокристалевої і дисперсною вкрапленості в пелітоморфній глинистій масі. Розмір зерен і агрегатів із зміною масової частки фосфору в руді не змінюється. Відзначається значне переважання розмірів зерен кварцу, польових шпатів, глауконіту і карбонатів над зернами франколіту.

Хімічний і мінеральний склади вихідної руди приведено у табл. 1 і 2.

Таблиця 1 – Хімічний склад вихідної руди

Компоненти, %											
$P_2O_5$	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>заг</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	п.п.п.
4,9	1,21	4,86	74,15	4,97	3,2	1,64	2,75	0,52	1,4	0,44	3,32

Таблиця 2 – Мінеральний склад вихідної руди

Найменування продукту	Фосфати	Гематит і гідроксида заліза	Кварц	Кальцит	Силікати
вихідна руда	11,9	1,5	61,3	0,3	25,0

З метою з'ясування характеру розподілу фосфору і мінеральних різновидів по класах крупності, було виконано гранулометричний аналіз руди (рис.1).

Гістограма гранулометричної характеристики руди відзначає мінімальну масову частку  $P_2O_5$  в класах з найменшим виходом: 0,16-0,04 мм. Аналіз результатів досліджень показує загальну закономірність концентрації фосфору в крупних класах (-40+5 мм). Результати рудорозборки по класах крупності показали, що проба складена на 43,8 % жовнами і гальками (більше 3 мм), на 23,8 % – гравійним (1-3мм) і на 32,4 % – піщаним (менше 1 мм) матеріалом.

Піщана частина проби складається в основному з кварцового піску (80,0 %), глинистих мінералів (9,8 %), слюди (4,7 %), глауконіту (3,3 %) і зростків кварцу з вуглистою і глинисто-фосфатною речовиною (2,2 %). Масова частка  $P_2O_5$  в піщаній частині проби складає 0,42%.

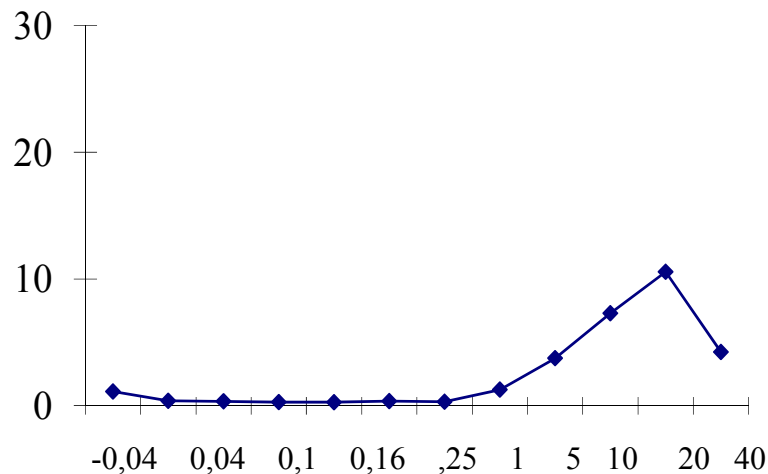


Рис.1. Гранулометрична характеристика і розподіл фосфору по класам крупності в жовнових фосфоритах ділянки «Вижевський» Волинської області

Кускова частина проби (67,6 %) представлена жовнами, гальками і неправильними стяжіннями розміром від 1 до 100 мм. По своїй будові і складу виділяються п'ять типів стяжінь: жовни і гальки фосфатних пісковиків, масова доля яких в пробі складає 35,6 %; стяжіння глинисто-фосфатної речовини – 1,5 %; кварцові гальки – 15,9 %; жовна кремнію – 7,9 %; жовна гранітоїдів – 6,7 %.

Фосфати зосереджуються в цементі пісковиків, чим і пояснюється високий вміст фосфору в кусковій частині проби. Жовна і гальки фосфатних пісковиків представляють продуктивну частину проби.

Лабораторні дослідження передбачали визначення параметрів процесу подрібнення жовнових фосфоритів. Значна контрастність міцності складових руд мінералів і різна крупність зерен зумовлюють особливий характер подрібнення руди до кінцевої крупності. Для повного розкриття фосфатів необхідно подрібнювати жовна до крупності, меншої середнього діаметру кварцових зерен. Проте, фосфорити із структурою тонкого проростання не можуть бути розкриті повністю. Отримання тоншого помелу неприйнятне через велику кількість тонких частинок-шламів, що порушують селективність розділення, утрудняють хід інших процесів. Відмінність в механічній міцності кварцу і фосфату приводить до вибіркості в розподілі їх по гранулометричних класах продукту: м'який фосфат переподрібниться і збагатить тонкий клас, а кварц концентруватиметься в крупних класах. Проведена серія експериментів для оцінки можливості технологічного використання цього явища.

Подрібнення до 0,5 мм проводили в стержньовому і кульовому млині, а до 0,16 мм в кульовому млині. Гранулометричний склад жовнових фосфоритів Волинської області, подрібнених до різної крупності приведено на рис 2. Мінералогічний аналіз показав, що фосфатні зерна концентруються в цементі жовнових фосфатних пісковиків у вигляді тонкої кристалічної і дисперсної вкрапленості в глинистій масі.

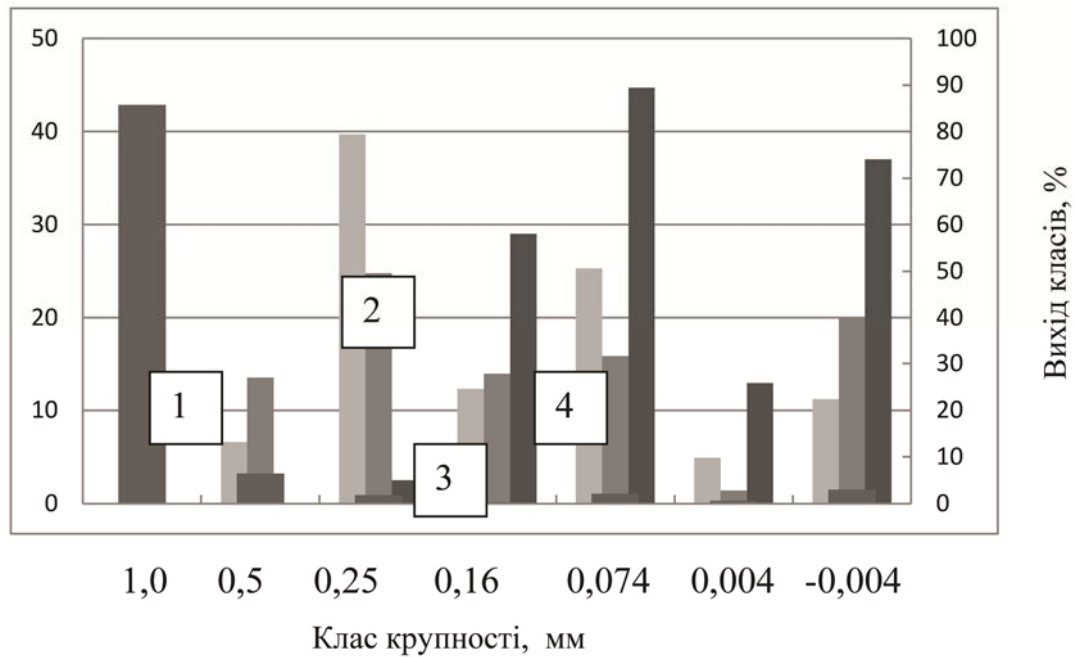


Рис.2. Гранулометричний склад подрібнених жовтових фосфоритів  
 1 – руда, яка поступає на подрібнення; 2 – руда, подрібнена до 0,5 мм у стержньовому млині;  
 3 – руда, подрібнена до 0,5 мм у кульовому млині; 4 – руда, подрібнена до 0,16 мм у кульовому млині

Мінералогічний аналіз продуктів, отриманих при подрібненні до мінус 0,5 мм показав, що кварцові, польовошпатові і глауконітові зростки з глинисто-фосфатною речовиною розподілилися по всіх класах крупності рівномірно. Процес подрібнення в кульовому млині до мінус 0,16 мм характеризується різким убуттям крупних класів і інтенсивним приростом тонких. Тонке подрібнення руди, забезпечує максимально можливе розкриття мінеральних зростків у крупності 0,16 мм, що привело до утворення великої кількості шламу до 37 %. Ситові характеристики описуються експоненціальними рівняннями.

Аналіз рівнянь свідчить про наявність в рудах дрібних і тонких класів. Мінерало – петрографічні дослідження продуктів розсівання дозволили пояснити механізм подрібнення руди. На першій стадії процесу має місце інтенсивне руйнування агрегатів з вивільненням зерен кварцу і польових шпатів, потім відбувається дорозкриття зростків і починається подрібнення рудних мінералів. Фосфорити, що є сумішшю легкого фосфатного мінералу з окварцованими мінералами, володіють більшою твердістю переподрібнюються і утрудняють подальшу переробку та переходять в клас мінус 0,044 мм.

При подрібненні руди з цементними структурами утворюються численні зростки: кварцові, глауконітові, кальцитові, які є зонами контакту фосфатного цементу із зернами або ділянками цементу, сильно забрудненими включеннями. В ході виконання досліджень встановлено декілька видів зростків: *відкриті* зростки – в одній частинці об'єднані два і більш мінеральних компоненту з рівною або звивистою лінією розділу; *закриті* зростки – частинка складається з двох компонентів, один з яких поміщений усередині іншого. Зростки такого вигляду характерні для жовтових фосфоритів з тонкозернистим кварцом; *поверхневі* зростки – тонка плівка і скориночки фосфатів обтікають зерна інших компонентів; *емульсині* зростки –

якнайтонші включення одного мінералу в іншій. Кінетика розкриття зростків мінералів при подрібненні представлена на рис. 3.

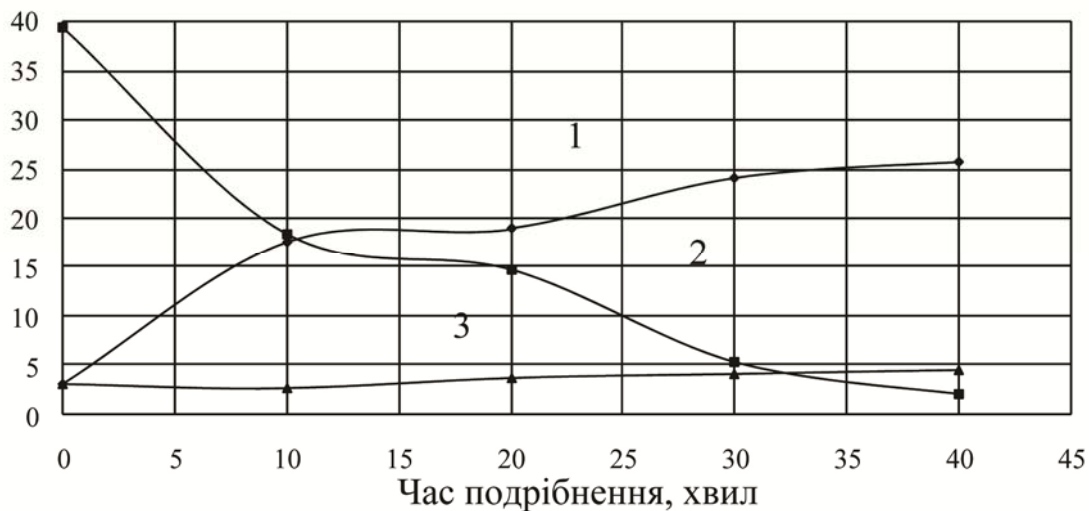


Рис. 3. Кінетика розкриття зростків мінералів при подрібненні фосфоритової руди: 1 – крива розкриття глинисто-фосфатної речовини; 2 – крива розкриття зерен кварцу і глинисто-фосфатної речовини; 3 – крива нерозкритих зростків

При подрібненні руди крива зниження виходу зростків від часу подрібнення глинисто-фосфатної речовини має увігнутий характер, що свідчить про високу швидкість руйнування агрегатів. В характер кривої утворення розкритих зерен кварцу і глинисто-фосфатної речовини свідчить про випереджаюче розкриття саме цих мінералів. Кількість зростків кварцу і польових шпатів з глинисто – фосфатною речовиною в пробі склало 39,2 %. При подрібненні до 0,5 мм в стрижньовому і кульовому млині кількість зростків знизилася на 7,1 % і 15,4 % відповідно. При подрібненні до 0,16 мм розкриття зростків кварцу з глинисто – фосфатною речовиною збільшилося до 22 %. Мінералогічний аналіз продуктів, отриманих, при подрібненні показав, що кварцові, польовошпатові зерна, глауконіт і його зростки з глинисто – фосфатною речовиною рівномірно розподілилися по всіх класах крупності.

### Висновки та напрям подальших досліджень

В результаті аналізу результатів експериментів по подрібненню руди встановлено специфічне явище для жовнових фосфоритів - взаємне проростання глауконітових, карбонатних і фосфатних мінералів. При подрібненні руди у відкритому циклі до 95 % класу 0,5 мм, вихід класу мінус 0,04 мм досягає: у стрижньовому млині 11,2 %, у кульовому 20 % з вмістом  $P_2O_5$  відповідно 11,2- 10,4 %. При подрібненні до 93% класу 0,16 мм вихід класу мінус 0,04 мм склав 47,4 %, у якому концентрується до 9,6 %  $P_2O_5$ . У замкнутому циклі вихід класу мінус 0,04 мм складає 8 % при величині циркулюючого навантаження 200 %. Вміст  $P_2O_5$  знижується до 5,2 % при величині циркулюючого навантаження 500 %. Таким чином, для зниження вмісту важкозбагачених шлаків фосфорвміщуючі руди необхідно подрібнювати в замкнутому циклі, що досягається при високих циркулюючих навантаженнях 200-500%. На підставі вивчення особливостей речовинного складу жовнових фосфоритів встановлено, що руди характеризуються мілкодисперсною вкрапленістю фосфатів, вмістом мінералів з близькими фізико-хімічними властивостями

ми, для їх збагачення доцільне застосування флотаційних методів збагачення з вивченням закономірностей зміни поверхневих властивостей мінералів.

### Список використаної літератури

1. Ангелов А.И. Фосфатное сырье для производства минеральных удобрений / А.И. Ангелов, П.А. Денисов. – М.: Из-во НИИТЭТИМ, 1987. – 202 с.
2. Тимченко А.И. Горно-химическое сырье и его значение для экономики России / А.И. Тимченко // Горный журнал. – 2003. – №10. – С. 33-36.
3. Олійник Т.А. Особенности обогащения желваковых фосфоритовых руд Украины / Т.А. Олійник, Л.В. Скляр, О.И. Дзюба // Сборник научных трудов Национального горного университета. – 2005. – №23. – С. 242-246.
4. Олійник Т.А. Перспективы развития сырьевой базы фосфора Украины / А. Олійник, Л.В. Скляр, О.И. Дзюба // Вісник Криворізького технічного університету: Збірник наукових праць. – 2006. – Вип.-11. – С. 34-38.
5. Особливості збагачення жовтових фосфоритових руд України та переробка фосфорвміщуючих концентратів / Т.А. Олійник, Л.В. Скляр, О.И. Дзюба, Ф.Г. Татаринів // Новое в технологии, технике и переработке минерального сырья: Сборник научных трудов ОАО НИПИ Механобрчермет. – 2005. – С. 93-103.

*Надійшла до редакції 31.10.2013*

Т. А. Олейник, Л.В. Скляр

#### ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАСКРЫТИЯ МИНЕРАЛОВ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ЖЕЛВАКОВЫХ ФОСФОРИТОВЫХ РУД

В статье изложены результаты изучения особенностей вещественного состава желваковых фосфоритовых руд Волынской области, лабораторных исследований по измельчению руды и раскрытию сростков.

Ключевые слова: желваковые фосфориты, вещественный состав, измельчение, кинетика раскрытия, шаровая мельница, стержневая мельница, сростки.

T.A. Oliinyk, L.V. Sklyar

#### MINERALS DISCLOSURE KINETICS STUDY DURING GRINDING OF NODULAR PHOSPHATE ORES

The article presents the results of studying the nodular phosphate material composition of Volyn region, laboratory research in grinding of ore and disclosure of splices.

Keywords: nodular phosphorites, material composition, grinding, disclosure kinetics, ball mill, rod mill, splices.