

- chity organov dykhaniya. Spravochnoye rukovodstvo* [Personal respiratory protection. Reference Guide]. Sankt Peterburg, GIIP Art of Russia Publ., 2002. 400 p. (Rus.)
21. *DSTU EN 14378:2006 (EN 14387:2004, IDT). Zasoby indyvidual'noho zakhystu orhaniv dykhannya. Fil'try proty hazovi i fil'try skombinovani. Vymohy, vyprobuvannya, markuvannya* [State Standart EN 14387:2004 (EN 14387:2004, IDT). Respiratory protection. Gas filters and filters are combined. Requirements, tests, markings]. Kiev, Derzhspozhyvstandart Ukrayiny Publ., 2005. 14 p. (Ukr.)
22. *DSTU EN 143:2003 (EN 143:2000, IDT). Zasoby indyvidual'noho zakhystu orhaniv dykhannya. Protyaerazol'ni fil'try. Vymohy, vyprobuvannya, markuvannya* [State Standart EN 143:2003 (EN 143:2000, IDT). Respiratory protective devices. Antiaerosol filters. Requirements, tests, markings (EN 143: 2000, IDT)]. Kiev, Derzhspozhyvstandart Ukrayiny Publ., 2005. 24 p. (Ukr.)
23. Kolobrodov V.G., Sankov A.A., Karnatsevich L.V., Bereznyak P.A., Vinokurov E.I. Adsorbtsiya parov yoda nekotorymi adsorbentami [Iodine vapor adsorption by some adsorbents]. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Seriya: Fizika radiatsionnykh povrezhdeniy i radiatsionnoye materialovedeniye – Problems of atomic science and technology. Series: Physics of Radiation Effects and Radiation Materials Science*, 2003, vol. 6, no 84, pp. 1193-1202. (Rus.)

Рецензент: О.Є. Кружило

д-р техн. наук, ст. наук. співробітник, Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці

Стаття надійшла 25.09.2020

УДК 622.235.6:622.234.57:622.807

doi: 10.31498/2225-6733.41.2020.226208

© Савельєв Д.В.¹, Столбченко О.В.², Чеберячко І.М.³

ОЦІНКА ВМІСТУ НАДМАЛИХ ЧАСТИНОК В ПРОДУКТАХ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД НАСИЧЕНИХ ПОВЕРХНЕВО- АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ

Дрібнодисперсні фракції пилу, з розміром часток менше 3 мкм, утворюються в повітрі рудникової атмосфери під час вибуху, що є недопустимим по санітарним нормам умов праці робочих. З використанням рентгеноструктурного аналізу вивчено гранулометричний склад пилоподібних частинок пісковиків і вугілля, оброблених поверхнево-активними речовинами (ПАР). Зміна механізму руйнування вуглепородного масиву під дією ПАР сприяє зниженню концентрації пилу за рахунок швидкого осідання під дією сил гравітації.

Ключові слова: умови праці, дрібнодисперсний пил, рентгеноструктурний аналіз, поверхнево-активні речовини.

D.V. Saveliev, O.V. Stolbchenko, I.M. Cheberiyachko. Evaluation of the ultrafine particles content in the products of destruction of rocks saturated with surfactants. The paper considers the issue of reducing the fine fraction of dust (with a particle size of less than 3 microns), which is formed in the air of the mine atmosphere during drilling-and-blasting operations. These emissions form the working conditions of workers that are not

¹ канд. техн. наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-0738-3273, barm1907@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-2003-4382, elena_aot@ukr.net

³ канд. техн. наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-6193-5729, cheberiyachko.i.m@nmu.one

permissible according to sanitary standards. These studies are aimed at developing measures to reduce the intake of fine dust into the mine atmosphere, which causes occupational diseases of miners. With the help of X-ray structural analysis, the granulometric composition of the dust-like particles of the coal-rock mass, treated with surfactants, has been studied. X-ray structural studies were carried out on DRON-3 installation according to the standard technique; Cu-K α radiation tube being used as an X-ray beam source. Rocks, the destruction of which is carried out using the energy of the explosion, served as samples; they being hard monomineral limestones with an admixture of quartz and poly-mineral sandstones including quartz, feldspars, carbonates and pyrite. Blast loads destroyed dry samples and samples weakened by the action of various surfactants. The surfactant used was 10% solution of soda ash Na $_2$ CO $_3$ and sodium bicarbonate NaHCO $_3$, milk of lime with a 18.9% calcium hydroxide concentration. Analysis of the X-ray diffraction patterns of the destruction of the samples by the explosion showed that the number of ultra-small particles in the samples significantly decreases when they are treated with a 10% sodium bicarbonate solution (Na $_2$ CO $_3$). A change in the destruction mechanism of a coal-rock mass under the action of surfactants contributes to a decrease in the concentration of dust in an underground working due to the rapid settling of dust-like particles under the influence of gravitational forces. Studies show that X-ray diffraction analysis is a reliable way to monitor the effectiveness of various types of surfactants. The results of these studies can be used to develop new, safer ways of cutting exploration and excavation workings in coal mines.

Keywords: working conditions, fine dust, X-ray structural analysis, surfactants.

Постановка проблеми. Руйнування гірських порід та інших твердих середовищ механічними навантаженнями, тобто дроблення і подрібнення матеріалів, знаходить широке застосування в різних галузях промисловості і становить основу багатьох технологічних процесів. Зокрема, цей процес присутній при бурінні свердловин, дробленні гірських порід буропідричним способом і подальшій переробці з утворенням частинок з великим спектром крупності. Одним з головних недоліків такого способу є утворення значної кількості дрібнодисперсного пилу (0,5-5 мкм). Цей пил вважається таким, який важко пригнічується і є найбільш небезпечним для людини, а адсорбція на його поверхні отруйних газів підвищує агресивність цього пилу і сприяє розвитку у працюючих в шахтах профзахворювань, в тому числі пов'язаних з органами дихання.

Одним з основних показників оцінки якості вибуху є ступінь подрібнення гірських порід, що залежить від багатьох факторів. Встановлено, що дрібнодисперсний пил, який утворився при виконанні вибухових робіт в тупиковій виробці, поширюється по ній під дією аеродинамічних сил вентиляційного потоку. Частково цей пил осідає по довжині виробки за рахунок явища поперечної міграції часток до поверхні виробки і процесу їх турбулентної коагуляції. При цьому ефективність осідання часток за рахунок цих явищ для умов провітрювання тупикових виробок знаходиться на рівні 3,5% на 100 п.м. виробки. Зазначені фактори не впливають істотно на стан рудникової атмосфери в період проведення підричних робіт. В результаті цього газопилова хмара при її поширенні по всій довжині виробки містить в своєму складі дрібнодисперсну фазу, що представляє особливо небезпечну загрозу для здоров'я гірників, які працюють в даній виробці і в прилеглих сусідніх виробках шахтної вентиляційної мережі.

Пилопригнічення при бурових роботах в даний час здійснюється шляхом застосування промивання, а на навантажувальних роботах – зрошенням відбитої гірничої маси. Що ж стосується вибухових робіт, то, по суті, єдиним протипиловим заходом, застосовуваним на практиці, є активне провітрювання забою. Проте, одна лише вентиляція не може служити радикальним засобом боротьби з запиленістю гірничих виробок. Тому оцінка вмісту надмалих частинок, які містяться в атмосфері гірничих виробок при буропідричних роботах, актуальна.

В даний час створено новий перспективний напрямок зменшення запиленості шахтної атмосфери з використанням способів вибухового руйнування, які засновані на цілеспрямованому зменшенні міцності середовища на контактах «вибухова речовина-порода», «породоруйнівальний інструмент-порода», при впливі на руйнування полімінерального середовища поверхнево-активними речовинами (ПАР).

Сучасні петрографічні поляризаційні мікроскопи можуть забезпечити максимальне збі-

льшення порядку $\times 2250$ при використанні 90-кратного імерсійного об'єктива і 25-кратного окуляра. Проте, хроматичні і сферичні аберації, обумовлені хвильовою природою світла, не дозволяють по оптичним константам діагностувати мінеральний склад і адекватно вимірювати розміри частинок менше 1 мкм. Крім того, при великих збільшеннях (починаючи з $\times 2000$ і вище) під мікроскопом надмалі пилоподібні частинки розміром 1 мкм і менше можуть бути сплутані з дефектами поверхні предметного скла, на якому зазвичай розміщують пробу досліджуваного пилу. У зв'язку з цим, світлооптичний метод дослідження гранулометричного складу найдрібніших пилоподібних продуктів руйнування обмежений у своїх можливостях і не дозволяє оцінити вміст цих частинок в продуктах руйнування гірського масиву і в рудниковій атмосфері.

Рентгеноструктурний аналіз може бути використаний як надійний спосіб контролю ефективності різних видів ПАР, які застосовані для зниження рівня запиленості атмосфери шахт і рудників надмалими частинками породи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [1-7] наведено результати досліджень по руйнуванню гірських порід, насичених різними видами ПАР. Зокрема, детально описана кінетика насичення породного масиву поверхнево-активними речовинами, дія яких заснована на адсорбційному зниженні поверхневої енергії, що полегшує розвиток тріщин. Показано також, що насичення порід активними розчинами визначається величиною і характером пористості порід, їх початковою вологістю, типом розчину ПАР, напруженим станом масиву та ін. Крім того, досліджено можливість спрямованої зміни властивостей гірської породи, яка руйнується вибухом, шляхом насичення середовища поверхнево-активною речовиною – розчином SARMA, хімічний склад якої не приведено. Внаслідок зменшення поверхневої енергії на контактах мінеральних зерен під дією ПАР знижується міцність гірських порід і збільшується ефективність їх дроблення енергією вибуху за рахунок цілеспрямованої зміни властивостей середовища. Слід зазначити, що в даних роботах не розглядається механізм руйнування полімінерального середовища, ослабленого дією поверхнево-активних речовин, на контакті «ВР-порода», тобто відсутні дані про вплив ПАР на мінеральні компоненти, що складають гірську породу. Як показали експериментальні дослідження, вплив лугів, наприклад, Na_2CO_3 , знижує міцність кварцу в 2-5 разів. Отже, використання лужних розчинів в якості ПАР дозволяє зменшити міцність гірських порід, які вміщують кварц, і змінити механізм їх руйнування вибухом.

Ступінь подрібнення порід вибухом визначає загальну кількість пилу, що утворюється. Вона, в свою чергу, при інших рівних умовах залежить від потужності, щільності і величини заряду вибухової речовини. Як показують дослідження, в легенях при антракозі і силікозі знаходиться приблизно 95% частинок пилу розміром менше 2 мкм, 5% – 2-4 мкм і незначна кількість – понад 5 мкм. Кількість пилу, що надійшла в атмосферу і яка складається з частинок діаметром менше 10 мкм на 1 м^3 підірваної гірничої маси, становить 80-500 г. Патогенна дія пилу вугільних шахт визначається головним чином його масою, структурним складом і дисперсністю [8].

Фракційний склад зруйнованої гірської породи визначається технологією руйнування, з одного боку, і властивостями порід – з іншого. Найнебезпечнішою для здоров'я людини і безпеки робіт є фракція, яка на 70-80% складається з частинок діаметром менше 10 мкм [9].

Дослідженнями встановлено, що частка пилу, яка виникає при буропідричних роботах і надходить в гірничу атмосферу, складає від 30 до 60%. Оцінка результатів вибухового руйнування порід, які вміщують кварц (кварцити, пісковики та ін.), відібраних в ближній зоні вибуху, показала, що найдрібніші фракції (1-2 мкм) на 70-80% представлені уламками кварцу, в яких вміст мінералу кварцу в пилоподібних частинках становить від 75 до 90% і більше, із середнім розміром фракцій – 8-9 мкм [10, 11].

В даний час не розроблені достовірні методи визначення масової частки пилоподібних частинок мікронного і субмікронного розмірів в лабораторних пробах, проте представляється можливим на якісному рівні виявити їх присутність в продуктах руйнування вуглепородного масиву методом рентгеноструктурного аналізу [12]. Це дозволить здійснювати порівняльний аналіз проб вуглепородного масиву, зруйнованого динамічними навантаженнями різної інтенсивності.

Мета дослідження – методом рентгеноструктурного аналізу з високою точністю визначити масову частку пилоподібних частинок мікронного і субмікронного розмірів при порівняльному аналізі проб вуглепородного масиву, який ослаблений дією різних ПАР і зруйнований динамічними навантаженнями різної інтенсивності.

Викладення основного матеріалу. Рентгеноструктурний або дифракційний метод є, як відомо, одним з методів діагностики властивостей твердих тіл [12]. Однак, буває важко вирішити, чи складається тверде тіло з дуже дрібних кристалів або є склом з аморфною структурою. При дослідженні даним методом найменших кристалічних частинок, наприклад, частинок кварцового пилу, на рентгенівському спектрі чітко виділяється так звана зона «аморфізації». Чим більше надмалих частинок є в аналізованій пробі, тим вище інтенсивність, вимірювана, зазвичай, в імпульсах в секунду, відбитого від частинки рентгенівського пучка. На рентгеноструктурних діаграмах зона «аморфізації», яка пов'язана з надмалими частинками породного пилу, по осі абсцис обмежена значеннями кута $2\theta = 5-20^\circ$.

На сьогодні у вітчизняних лабораторіях рентгенограми досліджуваних об'єктів одержують переважно за допомогою дифрактометрів серії ДРОН. Значна частина активно функціональних приладів ДРОН після різного рівня автоматизацій та модернізацій одержали нові аналітичні можливості і зручності для користувача. Комп'ютерне управління дифрактометром, збереження та попереднє оброблення даних, можливість застосування до них деяких спеціальних програм та інформаційних баз значно підвищують якість результатів та прискорюють їх оброблення.

Рентгеноструктурні дослідження проводилися на установці ДРОН-3 за стандартною методикою, при цьому як джерело рентгенівського пучка використовувалася трубка з Cu-K_α -випромінюванням. Використано загальну рентгенооптичну схему фокусування за Брегом-Брентано, що найбільш часто використовується при дослідженнях об'єктів на дифрактометрах [12].

В якості зразків були обрані породи вугленосної товщі, руйнування яких здійснюється з використанням енергії вибуху, тобто міцні мономінеральні вапняки з невеликою кількістю домішок, зазвичай кварцу і полімінеральні пісковики, до складу яких входить кварц (50-55%), польові шпати (плагіоклаз + ортоклаз – 20-25%), карбонати (кальцит – 20-25%), слюда (переважно мусковіт – 1,2%) і пірит (марказит – не більше 1-2%).

Так як в основу рентгеноструктурного аналізу покладено закон Брега, що описує дифракцію рентгенівських променів в кристалічній речовині, то дослідження на вугіллі, яке також руйнується менш інтенсивними динамічними навантаженнями (як правило, ударними) або різанням, не проводилися, оскільки вугілля не має кристалічної структури і є аморфною речовиною.

Відібрані зразки порід кубічної форми з розміром ребра 40 ± 2 мм піддавалися вибуховому руйнуванню зарядом ВР бризантної дії масою 150 мг. Вибуховими навантаженнями руйнували сухі зразки і зразки, ослаблені дією різних ПАР: 10%-го розчину кальцинованої соди Na_2CO_3 і бікарбонату натрію NaHCO_3 , вапняне молоко – концентрації 18,9% гідроксиду кальцію. Пиловидну фракцію продуктів руйнування (0-50 мкм) вивчали після просіювання на лабораторних ситах. На рис. 1 і 2 приведені рентгенівські дифрактограми продуктів руйнування вапняку і пісковика.

Аналіз рентгенівських дифрактограм зруйнованих вибухом зразків вапняку і пісковика, оброблених різними видами ПАР, проводили шляхом порівняння сумарної інтенсивності відбитого рентгенівського пучка в зоні «аморфізації», що знаходиться в інтервалі кутів $2\theta = 5-20^\circ$. Величину сумарної інтенсивності (імпл/с) визначали на рентгенівських дифрактограмах. Результати аналізу наведено в таблиці.

Аналіз рис. 1 і 2, а також даних, наведених в таблиці, дозволив встановити наступне:

– найбільша сумарна інтенсивність відбитого рентгенівського пучка в зоні «аморфізації» ($2\theta = 5-20^\circ$) спостерігається для сухих (не оброблених ПАР) зразків, зруйнованих дією вибуху, причому, для надмалих частинок пісковика вона більш ніж в 2 рази, ніж для вапняку;

– при вибуховому руйнуванні зразків вапняку і пісковика, насичених різними видами ПАР, сумарна інтенсивність відбитого рентгенівського пучка істотно знижується. При цьому максимальне зменшення сумарної інтенсивності спостерігається для вапняку і пісковика, оброблених 10% розчином бікарбонату натрію (Na_2CO_3), в 2,34 рази для вапняку і в 4 рази для пісковика.

Оцінка обсягу надмалих частинок в продуктах руйнування вуглепородного масиву методом рентгеноструктурного аналізу в цілому показала наступне. Утворення найдрібніших частинок, розмір яких менше 1 мкм, в міцних гірських породах вуглепородного масиву, таких як вапняки і пісковики, при їх руйнуванні інтенсивними динамічними навантаженнями обумовлено особливостями механізму дії вибуху в полімінеральних середовищах. При цьому на харак-

тер руйнування полімінерального середовища основний вплив надають два фактори: перший фактор – явище розгалуження зростаючої мікротріщини на хвильовій стадії вибуху, коли швидкість росту тріщини перевищує величину, що дорівнює 0,6 швидкості поперечної хвилі в породі, яка руйнується.

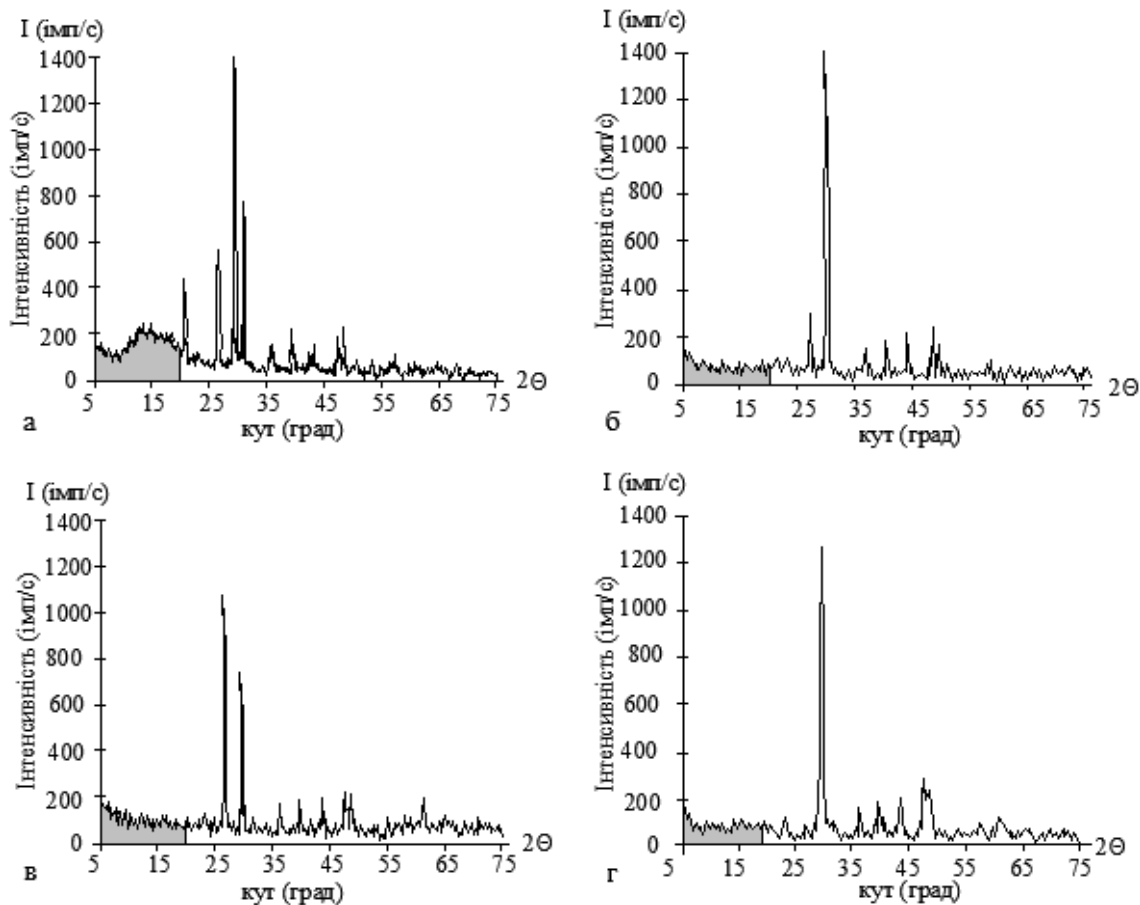


Рис. 1 – Рентгенівські дифрактограми надмалих частинок вапняку ПАТ «ДФДК» (Cu-K_α-випромінювання), зруйнованого зарядом ТЕНа, масою 150 мг: а – сухий зразок; б, в – зразки, насичені 10% розчином Na₂CO₃ і 10% розчином NaHCO₃, відповідно; г – зразок, насичений вапняним молоком. Затемнена область – зона «аморфізації»

Другий фактор – наявність дефектів в будові мінеральних зерен у вигляді внутрішньозернових і міжзернових мікротріщин, площин спайності мінералів, міжзернових контактів і різного роду включень (найдрібніших бульбашок газу і рідини), по яким розвиваються новоутворені поверхні руйнування.

У вапняках, як показав мікроструктурний аналіз, проведений на прозорих петрографічних шліфах, дефектами внутрішньої будови породи є, в основному, міжзернові контакти. В пісковиках дефектів внутрішньої будови значно більше і присутні вони як у вигляді контактів між зернами породоутворюючих мінералів, так і в самих мінеральних зернах у вигляді внутрішньозернових мікротріщин, площин газово-рідких включень в кварці і площин спайності в польових шпатах.

За даними роботи [13] в 1 см³ кварцу, одного з головних породоутворюючих мінералів пісковика, може бути присутнім до 2×10⁹ різного роду включень (дефектів будови). Оскільки дефекти будови мінералів є однією з основних причин утворення надмалих частинок на контакті «вибухова речовина-порода», то їх сумарний обсяг в зруйнованому пісковіку повинен істотно перевищувати обсяг найдрібніших продуктів руйнування у вапняку, що підтверджується даними рентгеноструктурного аналізу.

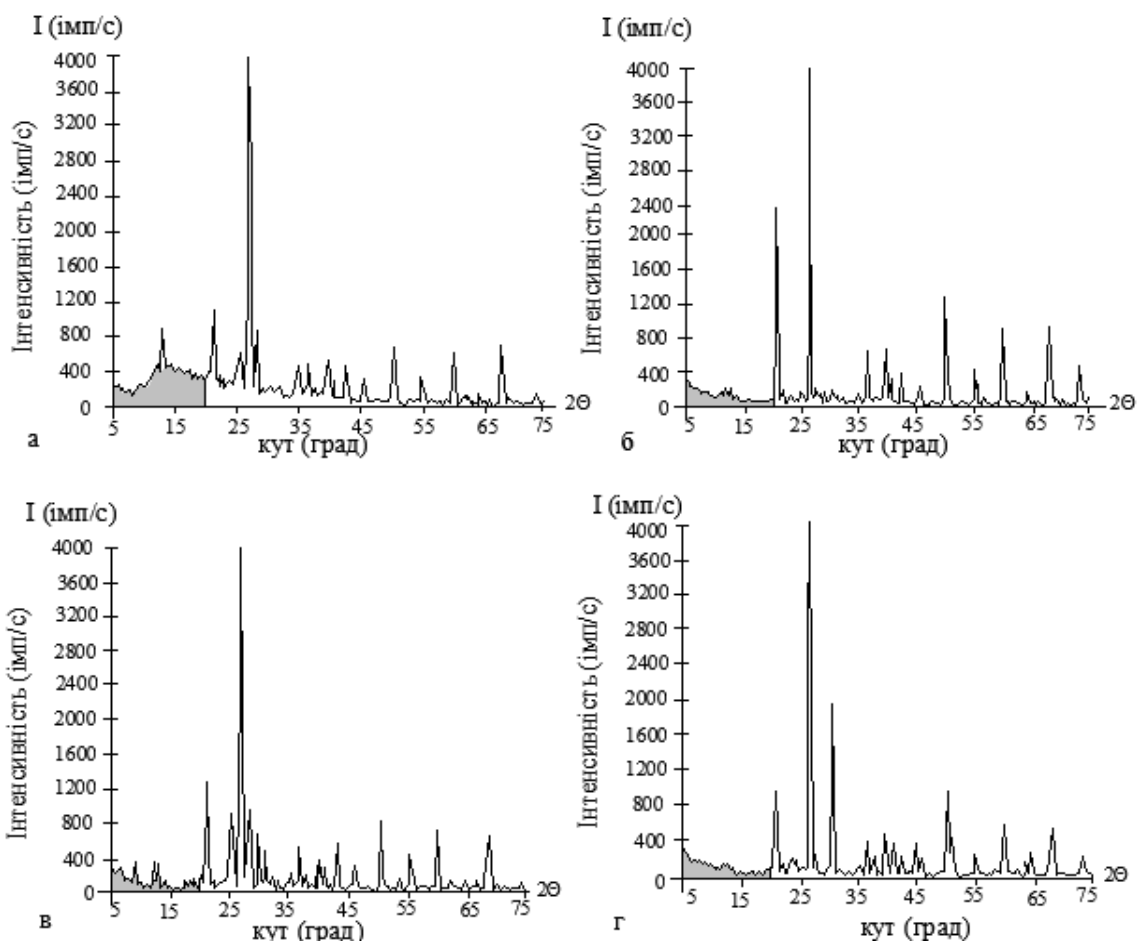


Рис. 2 – Рентгенівські дифрактограми надмалих частинок пісковика шахти Дніпрорівська (Cu-K_α-випромінювання), зруйнованого зарядом ТЕНа, масою 150 мг: а – сухий зразок; б, в – зразки насичені, 10% розчином Na₂CO₃ і 10% розчином NaHCO₃, відповідно; г – зразок, насичений вапняним молоком. Затемнена область – зона «аморфізації»

У породах, насичених ПАР, перетворення дефектів будови в тріщини при динамічному впливі на середовище, яке руйнується, найімовірніше відбувається в значній мірі по лінії контактів мінеральних зерен і, можливо, по внутрішньозерновим мікротріщинам. Внутрішньозернові дефекти будови (інтрагранулярні мікротріщини, площини спайності, т. ін.) не надають в ослабленій дією ПАР породі впливу на характер її вибухового руйнування.

Таблиця

Результати рентгеноструктурного аналізу зразків вапняку і пісковика, оброблених ПАР і зруйнованих вибухом заряду ТЕНа масою 150 мг

| Тип породи і місце відбору зразка | Поверхнево-активна речовина | Сумарна інтенсивність відбитого рентгенівського пучка в зоні «аморфізації» (2θ = 5-20°), імпл/с |
|--|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Вапняк дрібнозернистий, ПрАТ «Докучаєвський ФД комбінат», Центральний кар'єр | Сухий зразок | 23377,96 |
| | Вапняне молоко (водний розчин 18,9% Ca(OH) ₂). | 12532,57 |
| | 10% розчин NaHCO ₃ | 14641,20 |
| | 10% розчин Na ₂ CO ₃ | 9998,65 |

Продовження таблиці

| 1 | 2 | 3 |
|---|--|----------|
| Пісковик дрібнозернистий, шахта «Дніпровська» | Сухий зразок | 49995,91 |
| | Вапняне молоко (водний розчин 18,9% Ca(OH) ₂). | 17518,26 |
| | 10% розчин NaHCO ₃ | 16961,45 |
| | 10% розчин Na ₂ CO ₃ | 12425,96 |

Висновки

Застосування методу рентгеноструктурного аналізу для оцінки обсягу надмалих частинок в продуктах руйнування вуглепородного масиву дозволило встановити наступне:

– аналіз рентгенівських дифрактограм зруйнування зразків вибухом показав, що інтенсивність відбитого рентгенівського пучка в зоні «аморфізації», отже і кількість надмалих частинок, значно зменшується для зразків, оброблених 10% розчином бікарбонату натрію (Na₂CO₃). Причому, для вапняку це зменшення у 2,34 рази, а для пісковику в 4 рази, порівняно з сухими зразками;

– зміна механізму руйнування вуглепородного масиву під дією ПАР сприяє зниженню концентрації пилу в гірничій виробці, що утворюється під час проведення підричних робіт, за рахунок швидкого осідання пилоподібних частинок під дією сил гравітації і зменшенню сілікозо- і пневмоконіозонебезпечності;

– рентгеноструктурний аналіз може служити в якості одного з надійних способів контролю ефективності різних видів ПАР, що використовуються для зниження запиленості атмосфери шахт і рудників надмалими частинками породи.

Подальші дослідження в цій галузі дозволять розробляти нові більш екологічно безпечні способи проходки підготовчих і очисних виробок у вугільних шахтах.

Перелік використаних джерел:

- Кулинич В.Д. Исследование влияния поверхностно-активных веществ на прочностные характеристики скальных горных пород при различных типах воздействия / В.Д. Кулинич, В.В. Воробьев, В.Н. Чебенко // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2017. – Вип. 2/2017 (20). – С. 43-49.
- Жилин А.С. Использование поверхностно-активных веществ для повышения качества дробления горных пород / А.С. Жилин // Записки горного института. – Санкт-Петербургский горный университет. – 2003. – Т. 155, часть 2. – С. 62-65.
- Влияние поверхностно-активных веществ на изменение прочностных характеристик горных / Я.С. Долударева, Т.Ф. Козловская, В.Д. Лемижанская, А.И. Комир // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2012. – Вип. 1. – С. 8-16.
- Активизация процессов зарождения и развития трещин в поверхностно-активной среде при разработке пород невзрывчатыми разрушающими составами / О.Г. Латышев, И.С. Осипов, А.Н. Еремизин, К.А. Карасев // Известия вузов. Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 115-118.
- Латышев О.Г. Использование поверхностно-активных веществ в процессах бурения горных пород / О.Г. Латышев, О.О. Казак // Вектор Геонаук. – 2018. – Т. 1, № 2. – С. 29-37.
- Леушева Е.Л. Анализ способов понижения твердости горных пород и методик выбора поверхностно-активных веществ для повышения эффективности буровых работ / Е.Л. Леушева, Н.И. Николаев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология, нефтегазовое и горное дело. – 2014. – № 12. – С. 12-21.
- Леушева Е.Л. Методика оценки влияния поверхностно-активных веществ на эффективность разрушения горных пород при бурении скважин / Е.Л. Леушева, М.В. Турицына // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 1. – С. 237-239.
- Кременев О.Г. Закономерности дисперсного состава шахтной пыли в горных выработках угольных шахт Донбасса / О.Г. Кременев, В.Ю. Деревянский, В.А. Сергеев // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. – 2013. – № 2. – С. 152-164.

9. Mukherjee A.K., Bhattacharya S.K., Saiyed H.N. Assessment of respirable dust and its free silica contents in different Indian coalmines / A.K. Mukherjee, S.K. Bhattacharya, H.N. Saiyed // *Industrial health*. – 2005. – № 43. – Pp. 277-284.
10. Уменьшение пылегазового загрязнения атмосферы при производстве массовых взрывов на карьерах / И.Т. Мислибаев, Ш.Ш. Заиров, А.Б. Тухташев, М.Ж. Норматова // *Известия ВУЗов. Горный журнал*. – 2017. – № 2. – С. 39-43.
11. Rai R. Determination of dust generation potential number using rock properties / R. Rai, S. Gupta, S. Rattan // *Journal of Mines, Metals & Fuels*. – 2007. – № 53. – Pp. 65-68.
12. Данильченко С.М. Рентгенодифракційні методи дослідження кристалічних матеріалів / С.М. Данильченко, В.М. Кузнецов, І.Ю. Проценко. – Суми : Сумський державний університет. – 2019. – 135 с.
13. Вегман Е.Ф. Кристаллография, минералогия, петрография и рентгенография / Е.Ф. Вегман, Ю.Г. Руфанов, Н.Н. Федорченко. – М. : Металлургия, 1990. – 262 с.

References:

1. Kulinich V.D., Vorob'ev V.V., Chebenko V.N. Issledovanie vlijanija poverhnostno-aktivnyh veshhestv na prochnostnye harakteristiki skal'nyh gornyh porod pri razlichnyh tipah vozdeystvija [Study of the effect of surfactants on the strength characteristics of rocky rocks under various types of impact]. *Suchasni resursoenergozberigajuchi tehnologii girnichogo virobniictva – Modern resource-saving technologies of mining production*, 2017, no. 2/2017 (20), pp. 43-49. (Rus.)
2. Zhilin A.S. Ispol'zovanie poverhnostno-aktivnyh veshhestv dlja povyshenija kachestva droblenija gornyh porod [The use of surfactants to improve the quality of rock crushing]. *Zapiski gornogo instituta – Journal of Mining Institute*, 2003, no. 155/2, pp. 62-65. (Rus.)
3. Doludareva Ja.S., Kozlovskaja T.F., Lemizhanskaja V.D., Komir A.I. Vlijanie poverhnostno-aktivnyh veshhestv na izmenenie prochnostnyh harakteristik gornyh porod [Influence of surface-active substances on the change of strength properties of rocks]. *Suchasni resursoenergozberigajuchi tehnologii girnichogo virobniictva – Up-to-date resource- and energy – saving technologies in mining industry*, 2012, no. 1, pp. 8-16. (Rus.)
4. Latyshev O.G., Osipov I.S., Eremizin A.N., Karasev K.A. Aktivizacija processov zarozhdenija i razvitija treshhin v poverhnostno-aktivnoj srede pri razrabotke porod nevzryvchatymi razrushajushhimi sostavami [Activation of the processes of initiation and development of cracks in a surface-active medium during the development of rocks with non-explosive destructive compositions]. *Izvestiia vuzov. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2012, no. 1, pp. 115-118. (Rus.)
5. Latyshev O.G., Kazak O.O. Ispol'zovanie poverhnostno-aktivnyh veshhestv v processah burenija gornyh porod [The use of surfactants in the process of drilling rocks]. *Vektor Geonauk – Vector of Geosciences*, 2018, no. 2. pp. 29-37. (Rus.)
6. Leusheva E.L. Nikolaev N.I. Analiz sposobov ponizhenija tverdosti gornyh porod i metodik vybora poverhnostno-aktivnyh veshhestv dlja povyshenija jeffektivnosti burovnyh rabot [Analysis of methods for lowering the hardness of rocks and methods for selecting surfactants to improve the efficiency of drilling operations]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologija, neftegazovoe i gornoe delo – Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*, 2014, no. 12, pp. 12-21. (Rus.)
7. Leusheva E.L. Metodika ocenki vlijanija poverhnostno-aktivnyh veshhestv na jeffektivnost' razrushenija gornyh porod pri burenii skvazhin [Methodology for assessing the effect of surfactants on the efficiency of destruction of rocks when drilling wells]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' – Mining informational and analytical bulletin*, 2013, no. 1, pp. 237-239. (Rus.)
8. Kremenev O.G., Derevjanskij V.Ju., Sergeev V.A. Zakonomernosti dispersnogo sostava shahtnoj pyli v gornyh vyrabotkah ugol'nyh shaht Donbassa [Regularities of the dispersed composition of mine dust in the mine workings of Donbass coal mines]. *Sposoby i sredstva sozdaniija bezopasnyh i zdorovyh uslovij truda v ugol'nyh shahtah – Ways and means of creating safe and healthy working conditions in coal mines*, 2013, no. 2, pp. 152-164. (Rus.)
9. Mukherjee A.K., Bhattacharya S.K., Saiyed H.N. Assessment of respirable dust and its free silica contents in different Indian coalmines. *Industrial health*, 2005, no. 43, pp. 277-284.

10. Mislibaev I.T., Zairov Sh.Sh., Tuhtashev A.B., Normatova M.Zh. Umen'shenie pylegazovogo zagrjaznenija atmosfery pri proizvodstve massovyh vzryvov na kar'erah [Reduction of dust and gas pollution of the atmosphere during the production of massive explosions in open pits]. *Izvestiia vuzov. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2017, no. 2, pp. 39-43. (Rus.)
11. Rai R., Gupta S., Rattan S. Determination of dust generation potential number using rock properties. *Journal of Mines, Metals & Fuels*, 2007, no. 53, 65-68.
12. Danyl'chenko S.M., Kuznecov V.M., Procenko I.Ju. *Rentgenodyfrakcijni metody doslidzhennja krystalichnyh materialiv* [X-ray diffraction methods for the study of crystalline materials]. Sumy, Sums'kyj derzhavnyj universytet Publ., 2019. 135 p. (Ukr.)
13. Vegman E.F., Rufanov Ju.G., Fedorchenko N.N. *Kristallografija, mineralogija, petrografija i rentgenografija* [Crystallography, mineralogy, petrography and radiography]. Moscow, Metallurgija Publ., 1990. 262 p. (Rus.)

Рецензент: В.І. Голінько
д-р техн. наук, проф., НТУ «ДП»

Стаття надійшла 02.11.2020