

layered sphere by the finite element method]. *Fizyko–khimichna mehanika materialiv – Physico-chemical mechanics of materials*, 50, 1, 32–38.

8. Fedosov, O. V., Karpovych, O. V., & Pererva, V. O. (2015). Zastosuvannia elektronnoho promenia dlia vidpalu zvarnyh ziednan tytanovoho splavu BT23. [Application of electron beam for firing of welded joints of titanium alloy BT23]. *Aviatsionno–kosmicheskaia tekhnika i tekhnolohiia – Aerospace engineering and technology*, 6(123), 52–57.

УДК 621.921.34, 622.24.051

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-45-56

**О.М. Ісонкін, О.С. Осіпов, О.О. Матвійчук**, кандидати технічних наук

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,  
04074 м. Київ, вул. Автозаводська, 2, e-mail: alm343@ukr.net*

### **ПАРАМЕТРИ ШЛАМУ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ ПРИ ЇЇ РУЙНУВАННІ АЛМАЗНИМ ПОРОДОРУЙНІВНИМ ІНСТРУМЕНТОМ**

*Мета роботи, результати якої відображено в цій статті, полягала в зіставленні гранулометричного складу і виду частинок шламу гірської породи з параметрами ріжучої здатності робочої поверхні алмазного породоруйнівного інструменту, що характеризують ефективність його роботи при різній інтенсивності руйнування з підтриманням постійної механічної швидкості буріння. Для досягнення поставленої мети при бурінні алмазними імпрегнованими коронками та точінні різцями з алмазних композиційних матеріалів різного складу граніту Коростишівського родовища Х категорії буримості відбирали проби шламу, які в подальшому піддавали аналізу гранулометричного складу з використанням сучасного аналізатора моделі Microtrac Sync 3000.*

*Зіставлення ступеня зносу зразків композиту з даними аналізу гранулометричного складу шламу показало, що чим менше ступінь зносу ріжучої кромки породоруйнівного елемента, тим крупніше за розмірами утворюється шлам. При однакових умовах випробувань це свідчить про більш ефективне використання енергії, що підводиться до забою та йде більшою мірою на руйнування гірської породи і в меншому ступені на тертя і знос. Отримані нами результати дозволили уточнити характер впливу співвідношення швидкості обертання і осьового навантаження на енергоємність руйнування гірської породи і зміну фракційного складу частинок шламу, що утворюються при цьому.*

**Ключові слова:** шлам гірської породи, синтетичні алмази, енергоємність руйнування, зносостійкість, бурові коронки.

Механічне руйнування гірської породи як фізичний процес характеризується утворенням частинок шламу, які згідно з принципом П. Кюрі мають два види енергії – об'єма і поверхні, та підкоряються закону, який відображає співвідношення лінійних розмірів з питомими витратами енергії на руйнування. [1]

Одними з основних показників, що характеризують ефективність руйнування гірської породи, є гранулометричний склад її шламу і питома поверхня його частинок. Гранулометричний склад продуктів руйнування гірської породи як похідний показник швидкості буріння і величини витрат енергії на 1 м проходки представляє великий інтерес для теорії та практики оптимізації параметрів режиму буріння. Крім цього, без урахування гранулометричного складу бурових шламів практично неможлива розробка ефективних способів очищення свердловин, а також точних і зручних в практичному сенсі методів їх розрахунку [2].

Згідно з енергетичними уявленнями, при усіх видах механічного руйнування твердих тіл, в тому числі гірських порід при бурінні, фізична природа тіла залишається незмінною, а змінюється тільки площа його поверхні в залежності від гранулометричного складу частинок

шламу, що утворюються [3]. Результати аналізу процесу руйнування гірської породи алмазним буровим інструментом показують, що щільність енергії, яку його робоча поверхня передає в зоні контакту гірській породі в одиничних актах руйнування, залежить від конструктивних особливостей і технологічних параметрів режиму роботи. При цьому чим сильніше інтенсивність навантаження і вище ступінь подріблення, тим більше енергоємність руйнування [3, 4].

Твердження Колмогорова А.М. про те, що розподіл часток бурового шламу зруйнованої гірської породи за розмірами підпорядковується логарифмічно-нормальному закону, отримало достатнє підтвердження експериментальним шляхом в геологічній і збагачувальній сферах промисловості [5]. Дослідження фракційного складу гірської породи, зруйнованої при обертальному бурінні різними типами породоруйнівного інструменту, показали стабільний вміст частинок певного розміру з переважанням у пробах шламу дрібної фракції до 65–70%, середньої фракції – до 25–30% і великої фракції – до 5%. При цьому встановлено, що при обертальному бурінні алмазними коронками будова і властивості порід майже не позначаються на геометричних параметрах бурового шламу [6–8].

Висока механічна швидкість буріння як похідна величина глибини впровадження одиничних алмазів в гірську породу може бути досягнута тільки в екстремальних умовах роботи породоруйнівного інструменту при різному парному сполученні таких основних режимних параметрів, як окружна швидкість обертання та осьове навантаження. При цьому на кожному з поєднань згаданих параметрів забезпечується певна інтенсивність руйнування гірської породи, яка визначається величиною поглиблення за один оберт і відповідним йому обсягом зруйнованої породи [9, 10].

Підвищення осьового навантаження як силового параметра сприяє зростанню механічної швидкості буріння і ефективності руйнування породи, але при цьому призводить до зростання питомих контактних навантажень. З одного боку, це збільшує обсяг породи, що руйнується за один оберт коронки, а з іншого – сприяє підвищенню ймовірності руйнування зерен алмазів, зниження їх виступання з матриці, зростання концентрації шламу в зазорі між робочим торцем коронки і забоєм свердловини та ступеня гідроабразивного впливу його частинок на робочу поверхню [11].

Мета роботи, результати якої відображені в цій статті, полягала в зіставленні гранулометричного складу і виду частинок шламу гірської породи з параметрами, котрі характеризують ефективність роботи алмазного породоруйнівного інструменту при різній інтенсивності її руйнування з підтриманням постійної механічної швидкості буріння.

На першому етапі експериментальні дослідження здійснювали при бурінні граніту Коростишівського родовища імпрегнованими буровими коронками типу БС-01, оснащеними синтетичними алмазами АС125 зернистістю 315/250 мкм. В процесі експериментів механічну швидкість буріння підтримували постійною на парних сполученнях режимів буріння. У якості параметра, що оцінює мікрогеометрію робочої поверхні бурової коронки, прийняли висоту виступання алмазів, яку вимірювали згідно з методикою, викладеною в [12].

Ефективність руйнування гірської породи оцінювали за питомою об'ємною роботою руйнування (відношенню загальної роботи руйнування до обсягу зруйнованої породи). Зносостійкість коронок оцінювали за інтенсивністю зношування – відношенню лінійного зносу алмазовмісного шару матриці до поглиблення свердловини. Лінійний знос вимірювали з точністю до 1 мкм із використанням мікрометричної головки МІГ-1. Осьове навантаження і тангенціальну складову зусилля руйнування гірської породи визначали за допомогою двокомпонентного динамометра [12].

На другому етапі експериментальних досліджень оцінювали гранулометричний склад шламу в залежності від гостроти ріжучої кромки різців полікристалічних композиційних матеріалів алмаз–CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> і алмаз–SrCO<sub>3</sub>. Для порівняння проводили також випробування зразків алмазно-твердосплавних пластин (АТП) фірми *Dong'e Zuanbao Diamond Corporation*.

Зносостійкість досліджуваних зразків композитів визначали за результатами точіння керна граніту Коростишівського родовища X категорії буримості. Вибір в якості гірської породи цього граніту було обумовлено його стабільними властивостями, високою твердістю і середньою абразивністю.

Випробування проводили із застосуванням токарно-гвинторізного верстата моделі 1А616 (рис. 1). Умови проведення випробувань для всіх досліджуваних зразків були однакові і відповідали наступним значенням: швидкість різання керна граніту 75 м/хв при поздовжній подачі 1,25 мм/об. і глибині різання 0,1 мм. Інтенсивність зношування визначали як відношення лінійного зносу  $h$  ріжучої кромки зразків до обсягу зруйнованої ними гірської породи.

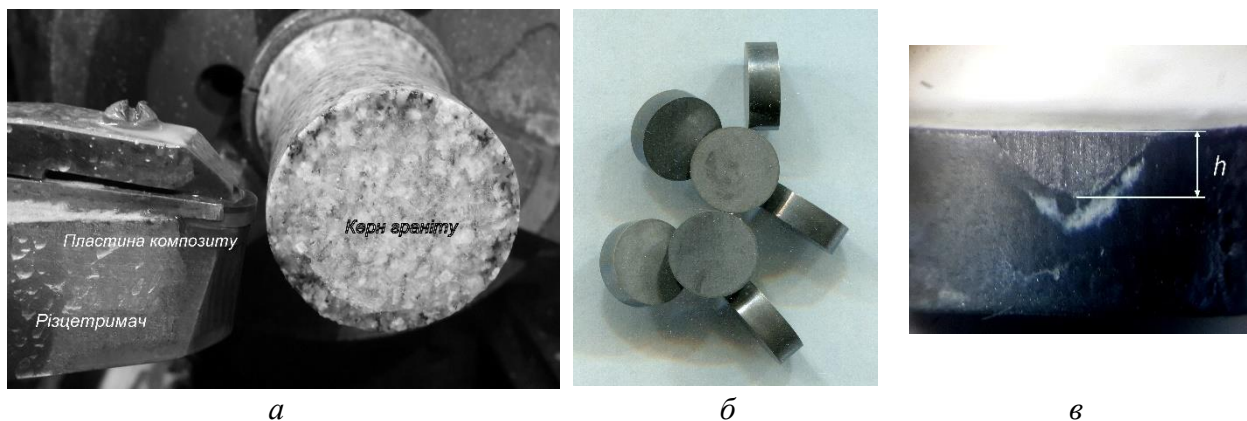


Рис. 1. Схема випробувань пластин композитів із застосуванням токарно-гвинторізного верстата моделі 1А616 (а), зразки композиту діаметром 9,5 и висотою 3,2 мм (б), и схема вимірювання лінійного зносу їх ріжучої кромки (в)

Шлам зруйнованої гірської породи відбирали в процесі дослідження зносостійкості алмазних імпрегнованих коронок і зразків композиту при руйнуванні граніту. Визначення розміру і форми частинок шламу граніту відповідно стандартам ISO 13320 (лазерна дифракція) і ISO 13322 (аналіз цифрових зображень) діагностували у діапазоні від 1 до 4000 мкм методами лазерної дифракції та аналізу цифрових зображень з використанням аналізатора Microtrac Sync 3000. Отримані результати у вигляді середньочислового і об'ємного значення розподілу часток за розмірами, за вкладом в питому поверхню і інші статистичні дані зберігали в форматі баз даних Microsoft Access.

В якості ще одного показника, що дозволяє оцінювати гранулометричний склад шламу і ефективно використання енергії, що підводиться до забою свердловини, було прийнято його питому поверхню. Визначення питомої поверхні частинок шламу проводили статичним манометричним методом по азоту приладом Акусорб-2100 фірми «Культренікс» (Франція). Дегазацію зразків шламу здійснювали у вакуумі  $1,33 \times 10^{-5}$  Па при температурі 200 °С. Обсяг адсорбованого в моношарі азоту  $V_a$  (мл/г) розраховували згідно рівнянню БЕТ [13, 14].

Результати дослідження параметрів мікрогеометрії робочої поверхні і питомих контактних навантажень на робочому торці алмазних бурових коронок, які працювали при різній інтенсивності руйнування гірської породи, а також концентрації частинок шламу в призабійній зоні і питомої роботи руйнування наведено на рис. 2.

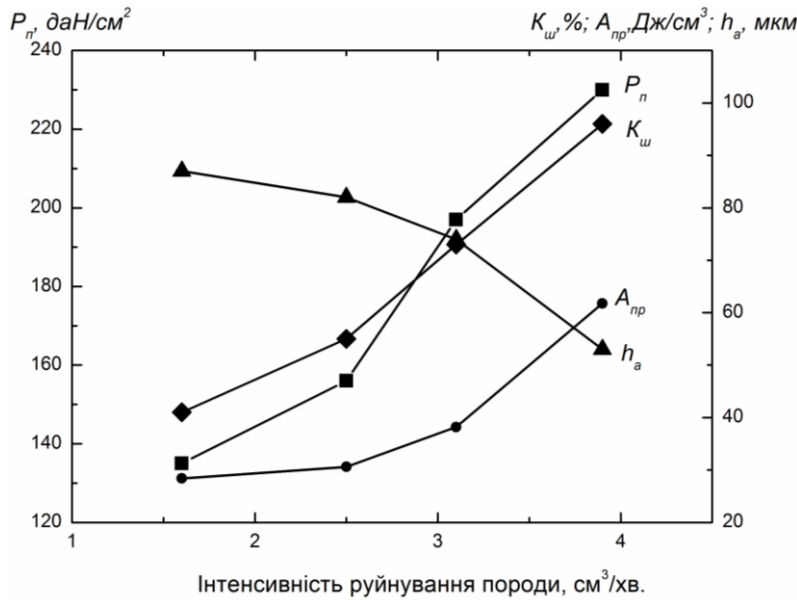


Рис. 2. Залежність питомих контактних навантажень  $P_n$ , концентрації частинок шламу  $K_w$ , питомої роботи руйнування  $A_{pr}$ , висоти виступання алмазів  $h_a$  від інтенсивності руйнування гірської породи

зоні і кількості їх контактів з робочою поверхнею матриці коронки. У комплексі зі збільшенням контактних навантажень на робочому торці інструменту це сприяло зниженню ріжучої здатності робочої поверхні коронок, підвищенню роботи тертя і інтенсивності їх зношування (рис. 3).

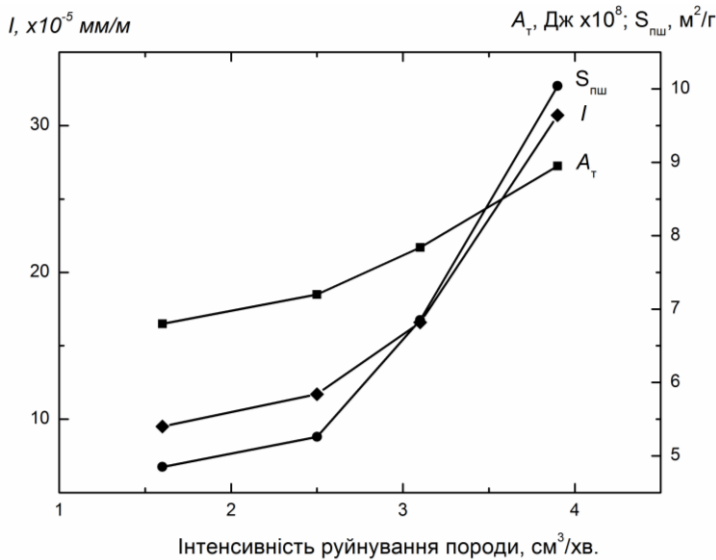


Рис. 3. Залежність інтенсивності зношування  $I$ , роботи тертя  $A_T$ , питомої поверхні шламу  $S_{ш}$  від інтенсивності руйнування гірської породи

В результаті збільшення інтенсивності руйнування гірської породи при постійній механічній швидкості буріння шляхом відповідного знижування швидкості обертання і збільшення поглиблення коронки за оберт відбувалося зростання питомих контактних навантажень і питомої роботи руйнування гірської породи.

Зниження висоти виступання алмазів через сколювання їх вершин, викликаного цим зростанням динамічних навантажень, і найбільший обсяг зруйнованої гірської породи приводили до підвищення концентрації частинок шламу в призабійній зоні і кількості їх контактів з робочою поверхнею матриці коронки, що призводило до підвищення ступеню їх вторинного подрібнення під час розклинювання між робочим торцем інструменту і забоем свердловини. Підтвердженням цього є збільшення питомої поверхні шламу, тобто утворення більш дрібних його фракцій. Розподіл частинок шламу за розмірами в пробах, відібраних при різних інтенсивностях руйнування гірської породи, представлено на рис. 4.

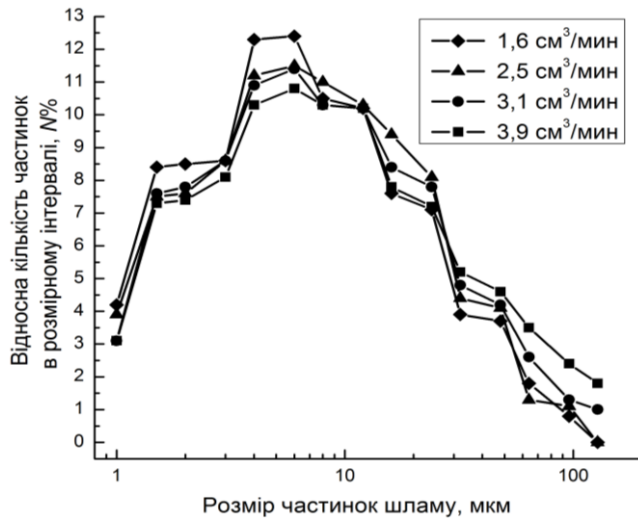


Рис. 4. Залежність розподілу частинок шламу згідно розміру у пробах, відібраних при різних інтенсивності руйнування граніту

вміст дрібних частинок розміром менше 10 мкм.

На другому етапі досліджень основним напрямком була оцінка впливу зносостійкості ріжучої кромки різців полікристалічних композиційних матеріалів алмаз–CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, алмаз–SrCO<sub>3</sub> і АТП на ефективність руйнування гірської породи, яку оцінювали за гранулометричним складом її шламу.

На рис. 5 представлені ділянки ріжучих крайок зразків досліджуваних композитів і АТП і дані по інтенсивності їх зношування після точіння ними керн граніту.

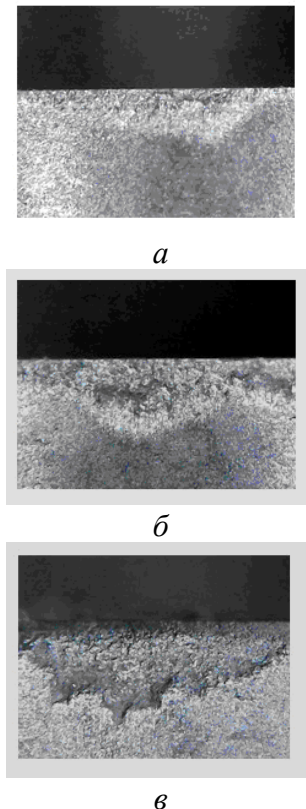
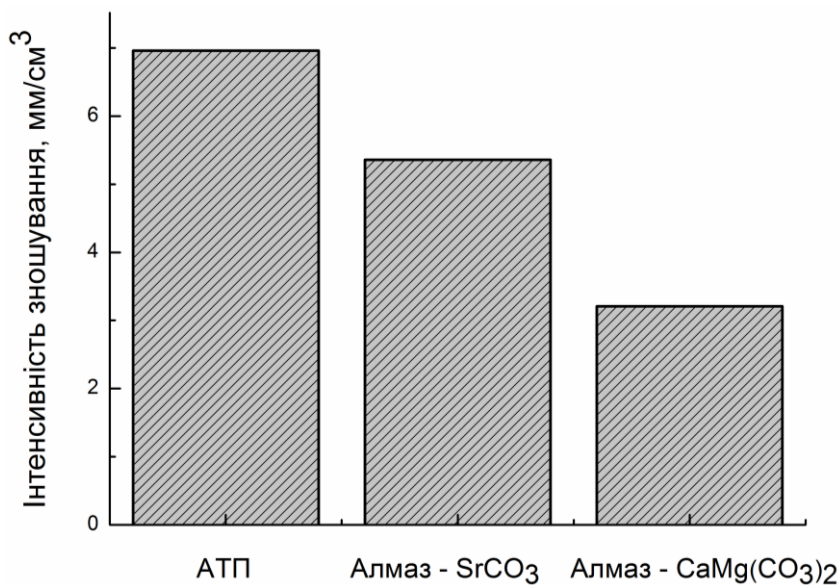


Рис. 5. Інтенсивність зношування зразків композитів після точіння граніту та вигляд ділянки зносу ріжучої кромки зразків композиту алмаз–CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (а), алмаз–SrCO<sub>3</sub> (б), АТП (в)

Аналіз зображення ріжучої кромки пластин композитів і АТП після точіння граніту показав, що характер зносу зразків композиту алмаз– $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , алмаз– $\text{SrCO}_3$  однорідний і рівномірний. У АТП спостерігали нерівномірний знос з наявністю відколів і викришування (рис. 5 в). За результатами випробувань, наведених на рис. 5, найбільшу зносостійкість з усіх досліджених зразків мали пластини композиту алмаз– $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ .

Характер зносу ріжучої кромки істотно вплинув на ефективність руйнування граніту, що підтверджується результатами аналізу форми частинок і гранулометричного складу його шламу (рис. 6–8).

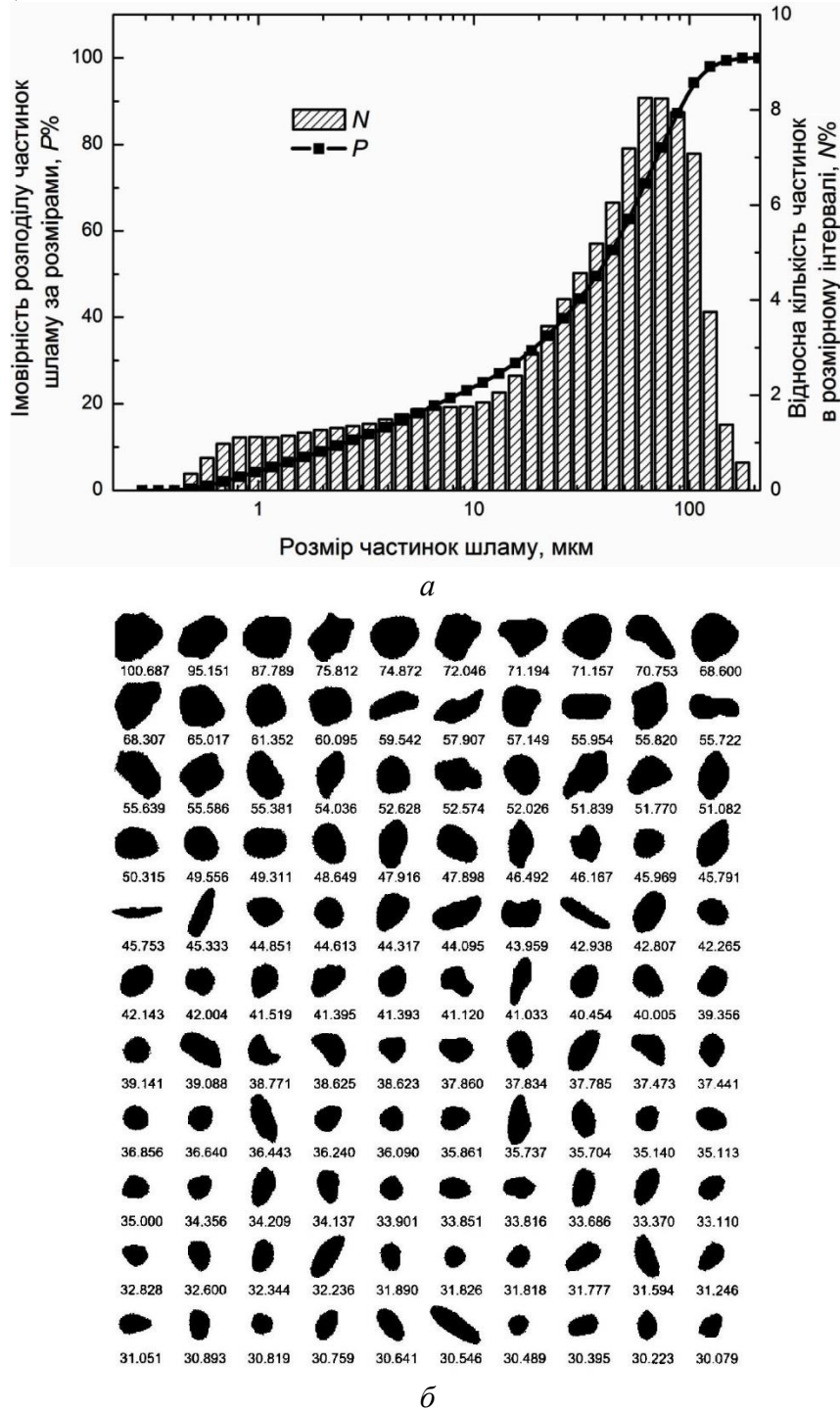


Рис. 6. Розподіл (а) і форма (б) частинок шламу, отриманого під час руйнування граніту зразком композиту алмаз– $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

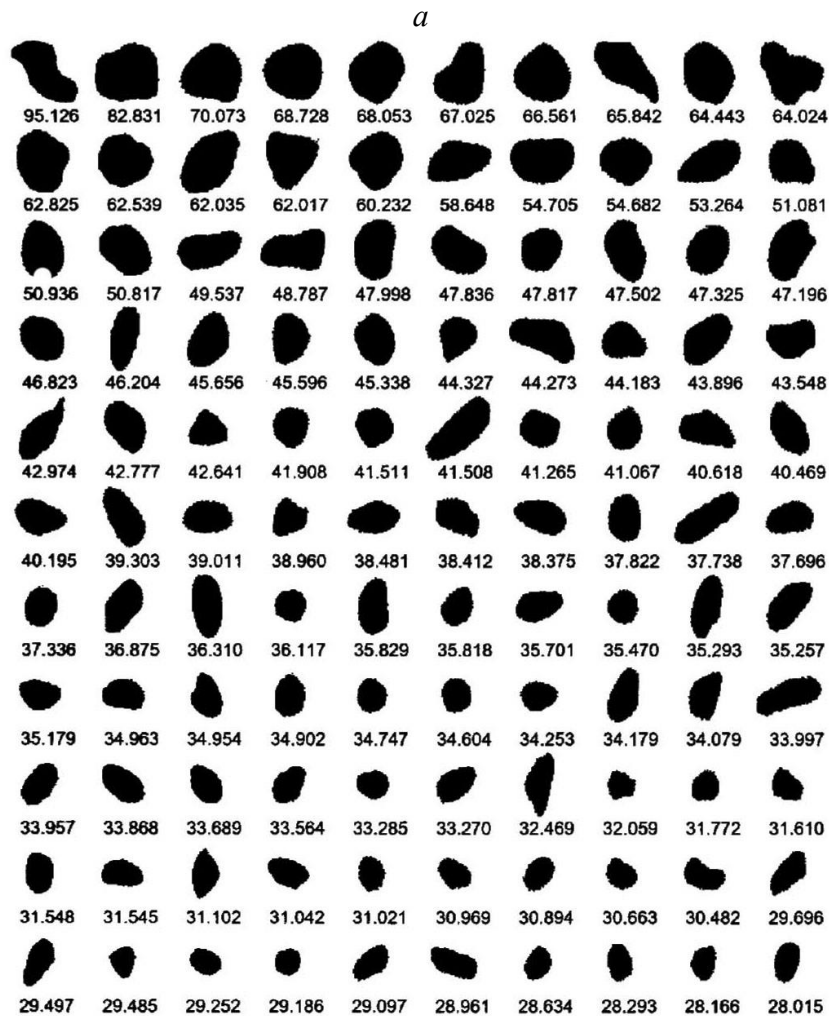
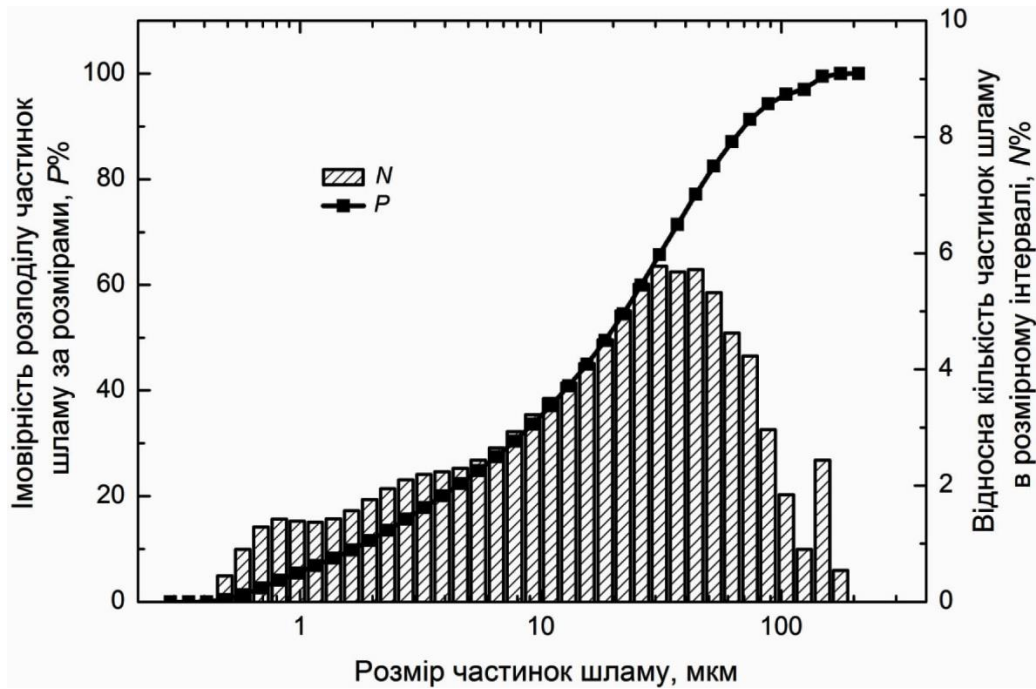
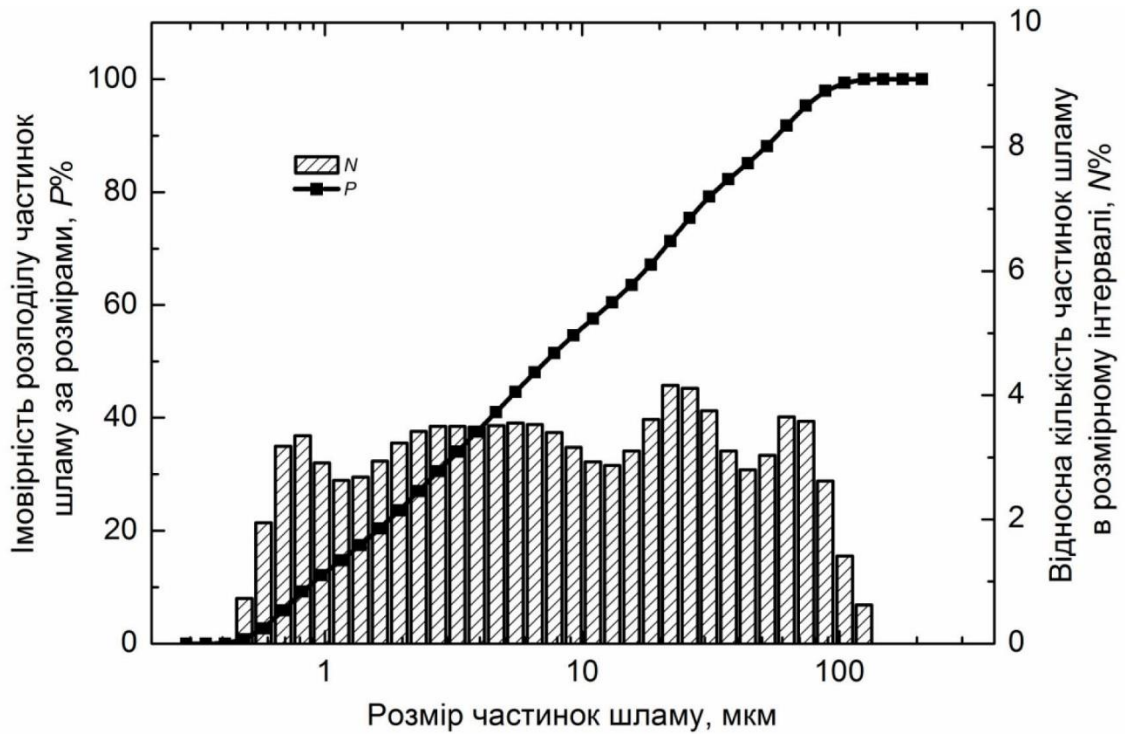
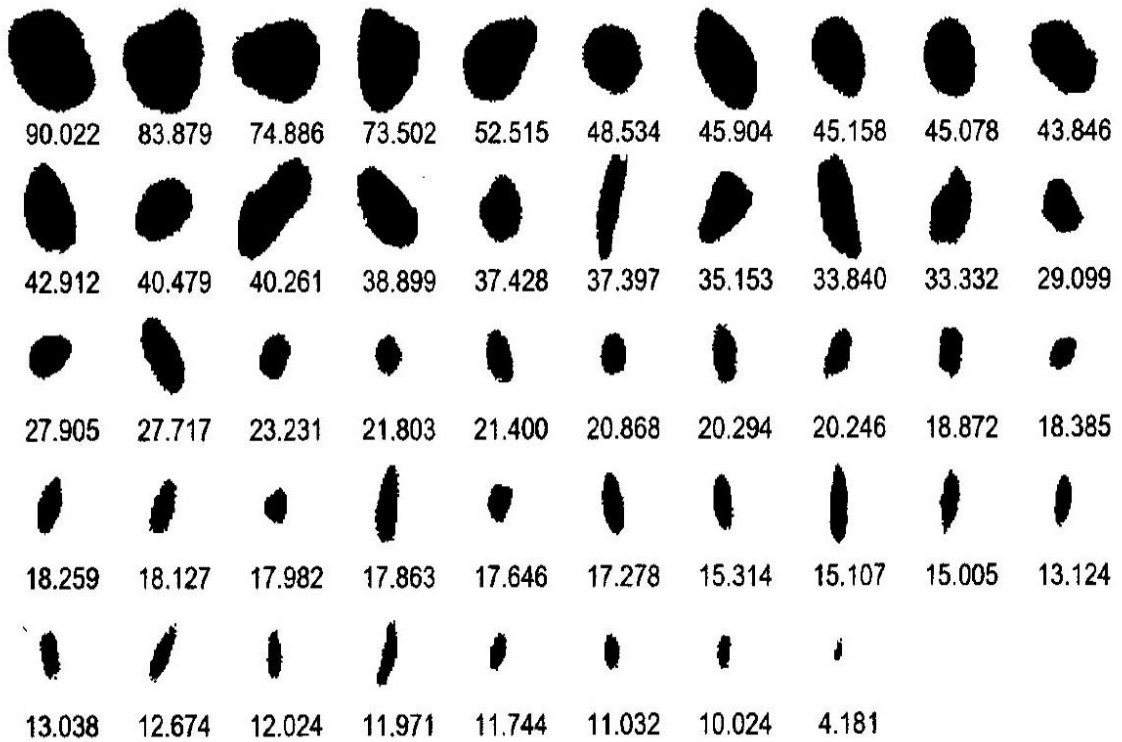


Рис. 7. Розподіл (а) и форма (б) частинок шламу, отриманого під час руйнування граніту зразком композиту алмаз-SrCO<sub>3</sub>



*a*



*б*

Рис. 8. Розподіл (а) и форма (б) частинок шламу, отриманого під час руйнування граніту зразком АТТ

Для всіх досліджених породоруйнівних елементів характерно створення частинок неправильної форми з обрисами, що наближаються при деякому допущенні до форми витягнутого еліпсоїда обертання. При цьому для великих часток в пробі проаналізованого

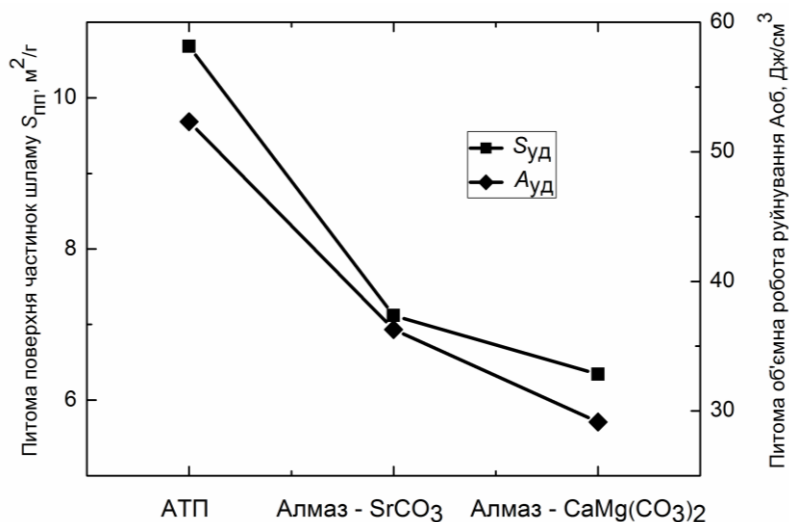


Рис. 9. Залежність зміни питомої поверхні шламу  $S_{уд}$  і питомої об'ємної роботи руйнування  $A_{уд}$  від складу композита

шламу характерно наближення їх до сферичної форми, а для дрібних – до голчастої. У міру зниження зносостійкості і, як наслідок, погіршення гостроти і форми ріжучої кромки зразків АТП і алмаз–SrCO<sub>3</sub> в отриманих пробах шламу збільшується частка дрібних частинок.

Зразку композиту алмаз – CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> властиве підвищення в пробі шламу частки великих частинок і, як наслідок, зменшення їх питомої поверхні, що свідчить про більш раціональне

використання енергії, яка йде на руйнування породи (рис. 9).

Зіставлення ступеня зносу зразків композиту з даними аналізу гранулометричного складу шламу показує, що чим менше ступінь зносу ріжучої кромки породоруйнівного елемента, тим крупніше за розмірами утворюється шлам. При однакових умовах випробувань це свідчить про більш ефективне використання енергії, що підводиться до забою та йде більшою мірою на руйнування гірської породи і в меншому ступені на тертя і знос. Підтвердженням даного припущення служить більш висока зносостійкість композиту алмаз–CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> в порівнянні з АТП і композитом алмаз–SrCO<sub>3</sub>.

### Висновки

Отримані нами результати дозволили уточнити характер впливу співвідношення швидкості обертання і осьового навантаження на енергоємність руйнування гірської породи і зміну фракційного складу частинок шламу, що утворюються при цьому.

Підтверджено, що вміст дрібних фракцій частинок з розмірами в інтервалі від 1 до 25 мкм в пробах шламу сягає до 75%. Збереження високої ріжучої здатності алмазів і гостроти ріжучої кромки породоруйнівних елементів надтвердого композиту алмаз–CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> сприяє підвищенню ефективності руйнування ними гірської породи. Підтвердженням цього є утворення шламу гірської породи з вмістом частки більш великих його частинок, зниження їх питомої поверхні та питомої роботи руйнування. Це свідчить про більш ефективне використання енергії, що підводиться до забою та йде більшою мірою на руйнування гірської породи і в меншому ступені на тертя і знос.

**A.M. Isonkin, A.S. Osipov, A.A. Matviichuk**

*V. Bakul Institute of superhard materials of NAS of Ukraine, Kyiv*

### **PARAMETERS OF ROCK SLUDGE DURING ITS DESTRUCTION BY DIAMOND ROCK-DESTRUCTIVE TOOL**

*The purpose of the work, the results of which are reflected in this article, was to compare the granulometric composition and type of particles of rock cuttings with the parameters of the cutting ability of the working surface of a diamond rock cutting tool, which characterize the efficiency of its work at a constant ROP with different rates of destruction. Drilling with diamond impregnated bits and turning of the granite rock of the Korostyshevskoye field of the X category of drillability by the cutters based on diamond composite materials of various compositions were carried out for reaching this goal. Sludge samples were taken and an analysis of its granulometric composition was carried out using a modern analyzer model Microtrac Sync 3000.*

*Comparison of the degree of wear of the composite samples according to the data of the analysis of the granulometric composition of the cuttings showed that the less the degree of wear of the cutting edge of the rock-breaking element is, the larger in size are the cuttings formed. Under the same test conditions, this indicates a more efficient use of the energy supplied to the bottom, which is used to a greater extent for the destruction of the rock, and to a lesser extent for friction and wear. The results obtained make it possible to clarify the nature of the influence of the ratio of the rotational speed and axial load on the energy consumption of rock destruction, as well as on the change in the fractional composition of the sludge particles formed during this process.*

**Key words:** rock cuttings, synthetic diamonds, energy intensity of destruction, wear resistance, drill bits.

**А.М. Исонкин, А.С. Осипов, А.А. Матвийчук**

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

### **ПАРАМЕТРЫ ШЛАМА ГОРНОЙ ПОРОДЫ ПРИ ЕЕ РАЗРУШЕНИИ АЛМАЗНЫМ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ**

*Цель работы, результаты которой отражены в этой статье, заключалась в сопоставлении гранулометрического состава и вида частиц шлама горной породы с параметрами режущей способности рабочей поверхности алмазного породоразрушающего инструмента, характеризующими эффективность его работы при различной интенсивности разрушения с поддержанием постоянной механической скорости бурения. Для достижения поставленной цели при бурении алмазными импрегнированными коронками и точении резцами из алмазных композиционных материалов различного состава гранита Коростышевского месторождения X категории буримости отбирали пробы шлама, которые в дальнейшем подвергали анализу гранулометрического состава с использованием современного анализатора модели Microtrac Sync 3000.*

*Сопоставление степени износа образцов композита с данными анализа гранулометрического состава шлама показало, что чем меньше степень износа режущей кромки породоразрушающего элемента, тем крупнее по размерам образуется шлам. При одинаковых условиях испытаний это свидетельствует о более эффективном использовании энергии, подводимой к забою, и идет в большей степени на разрушение горной породы и в меньшей степени на трение и износ. Полученные нами результаты позволили уточнить характер влияния соотношения окружной скорости вращения и осевой нагрузки на энергоемкость разрушения горной породы и изменение фракционного состава частиц шлама, образующихся при этом.*

**Ключевые слова:** шлам горной породы, синтетические алмазы, энергоемкость разрушения, износостойкость, буровые коронки.

#### **Литература**

1. Ходаков Г.С. Физика измельчения. – М.: Наука, 1972. – 307 с.

2. Давиденко А.Н., Игнатов А.А., Полищук П.П. Транспортировка продуктов разрушения при бурении скважин. – Днепр: Нац. горн. ун-т, 2016. – 116 с.
3. Спивак А.И. Механика горных пород. – М.: Недра, 1967. – 192 с.
4. Присташ В.В., Чирков С.Е. Энергоемкость разрушения горных пород при различных видах механических воздействий // Горн. информ.–аналит. бюл. Горная кн. – 2000 – № 10. – С. 85–87.
5. Батугин С.А., Бирюков А.В., Кылатчанов Р.М. Гранулометрия геоматериалов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. – 173 с.
6. Рожков В.П., Куприенко В.И. Влияние технических и технологических факторов на величину шламовых частиц и их распределение по размерам при алмазном бурении геологоразведочных скважин // Межвузовский тематический сборник "Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые". Вып. 12. – Свердловск, 1989. – С. 29–38.
7. Шашилов В.П., Кузнецов В.Н. Оценка гранулометрического состава бурового шлама // Методика и техника разведки. – 1980. – Вып. 134. – С. 72–73.
8. Исонкин А.М. Характер и степень воздействия частиц шлама разрушенной горной породы на матрицу алмазной буровой коронки // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – Вып. 13. – 2010. – С. 182–187.
9. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении / Под ред. В.Н. Бакуля. – К.: Наукова думка, 1978. – 232 с.
10. Соловьев Н.В., Башкатов Д.Н., Третьяк А.Я., Власюк В.И., Богданов Р.К., Загора А.П., Будюков Ю.Е., Спиринов В.И., Осецкий А.И., Исонкин А.М. Геологоразведочный породоразрушающий инструмент на основе алмазов и сверхтвердых материалов. – Новочеркасск: ЮГРТУ(НПИ), 2009. – 334 с.
11. Зыбинский П.В., Богданов Р.К., Загора А.П., Исонкин А.М. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении. – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 244 с.
12. Исонкин А. М. Исследование взаимодействия с горной породой безвольфрамовых матриц буровых коронок, оснащенных синтетическими алмазами, с целью повышения эффективности их применения. Дис. ... канд. техн. наук 05.15.14. – М.: МГГА, 1993. – 176 с.
13. Грег. С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. – М.: Мир, 1970. – 408 с.
14. Измерение удельной поверхности порошковых материалов и построение изотермы адсорбции–десорбции на приборе «Акусорб» фирмы «Культиреникс». – К.: ИСМ АН УССР, 1985. – 13 с.

Надійшла 25.05.21

### References

1. Khodakov, G.S. (1972). *Fizika izmelcheniia [Milling physics]*. Moscow: Nauka [in Russian].
2. Davidenko, A.N., Ignatov, A.A., & Polishchuk, P.P. (2016). *Transportirovka produktov razrusheniia pri burenii skva-zhin [Transportation of products of destruction during well drilling]*. Dnepr: Nats. gorn. un-t [in Russian].
3. Spivak, A.I. (1967). *Mekhanika gornyx porod [Rock mechanics]*. Moskwa: Nedra [in Russian].
4. Pristash, V.V., & Chirkov S.E. (2000). *Energoemkost razrusheniia gornyx porod pri razlichnykh vidakh mekhanicheskikh vozdeystvii [Energy intensity of destruction of rocks]*

- under various types of mechanical influences]. *Gorn. inform.–analit. biul. Gornaya kn. – Mining information and analytical bulletin. Mountain book*, 10, 85–87.
5. Batugin, S.A., Biryukov, A.V., & Kylatchanov, R.M. (1989), *Granulometriia geomaterialov [granulometry of geomaterials]*. Novosibirsk: Nauka [in Russian].
  6. Rozhkov, V.P., & Kuprienko, V.I. (1989). Vliianie tekhnicheskikh i tekhnologicheskikh faktorov na velichinu shlamovykh chastits i ikh raspredeleniie po razmeram pri almaznom burenii geologorazvedochnykh skvazhin [Influence of technical and technological factors on the size of sludge particles and their size distribution during diamond drilling of exploration wells]. *Sovershenstvovanie tekhniki i tekhnologii bureniia skvazhin na tverdye poleznye iskopayemye – Improvement of equipment and technology for drilling wells for solid minerals*, 12, 29–38 [in Russian].
  7. Shashilov, V.P., & Kuznetsov, V.N. (1980). Otsenka granulometricheskogo sostava burovo-go shlama [Evaluation of the particle size distribution of drill cuttings]. *Metodika i tekhnika razvedki – Intelligence technique and technique*, 134, 72–73 [in Russian].
  8. Isonkin, A.M. (2010). Kharakter i stepen vozdeistviia chastits shlama razrushennoi gornoj porody na matritsu almaznoi burovoi koronki [The nature and extent of the impact of particles of cuttings of destroyed rocks on the matrix of a diamond drill bit]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 13, 182–187 [in Russian].
  9. Bakul, V.N. (Eds.). (1978). *Sinteticheskie almazy v heolohorazvedochnom burenii [Synthetic diamonds in exploration drilling]*. Kiev: Naukova dumka [in Russian].
  10. Solovev, N.V., Bashkatov, D.N., Tretiak, A.Ya., et al. (2009.). *Geolohorazvedochnyi porodorazrushaiushchii instrument na osnove almazov i sverkhhtverdykh materialov [Geological exploration rock cutting tools based on diamonds and superhard materials]*. Novocherkask: YUGRTU(NPI) [in Russian].
  11. Zybinskii, P.V., Bogdanov, R.K., Zakora, A.P., & Isonkin A.M. (2007). *Sverkhhtverdye materialy v heolohorazvedochnom burenii [Superhard materials in exploration drilling]*. Donetsk: Nord-Press [in Russian].
  12. Isonkin, A. M. (1993). Issledovanie vzaimodeistviia s gornoj porodoi bezvolfra-movykh matritys burovykh koronok, osnashchennykh sinteticheskimi almazami, s tseliu povysheniia effektivnosti ikh primeneniia [Investigation of the interaction with the rock of tungsten-free matrices of drill bits equipped with synthetic diamonds in order to increase the efficiency of their use]. *Candidate's thesis*. Moskwa [in Russian].
  13. Greg, S., & Sing, K. (1970). *Adsorbtsiia, udelnaia poverkhnost, poristost [Adsorption, specific surface area, porosity]*. Moskwa: Mir [in Russian].
  14. *Izmerenie udelnoi poverkhnosti poroshkovykh materialov i postroenie izotermy adsorbtsii–desorbtsii na pribore «Akusorb» firmy «Kultreniks» [Measurement of the specific surface area of powder materials and construction of the adsorption-desorption isotherm using the «Akusorb» device of the «Kultreniks» company]*. (1985). Kiev: ISM AN USSR [in Russian].