

УДК 622.24.051, 622 '156

**О.П. Виноградова***Київський Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України***ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ЗНОШУВАННЯ БУРОВОГО ІНСТРУМЕНТУ ЗА ХАРАКТЕРОМ РУЙНУВАННЯ МАТРИЦІ КОМПОЗИЦІЙНОГО АЛМАЗОВІСНОГО МАТЕРІАЛУ**

*Досліджено інтенсивність зношування матриці породоруйнівних елементів алмазовісного бурового інструменту при руйнуванні ним порід середньої міцності. Встановлено хвильовий послідовно-періодичний характер відколювання частинок твердого сплаву від робочої поверхні матриці породоруйнівних елементів зі «славутича», якими оснащено бурову коронку БК-12 при різних експлуатаційних режимах. Запропоновано критерій оцінки інтенсивності зношування матриці, що включає геометричні параметри мікробиоїн, що утворюють борозенки на поверхні вольфрамо-кобальтової матриці породоруйнівного елемента.*

*Ключові слова:* руйнування, алмазовісна матриця, гірська порода, бурова коронка.

**Е.П. Виноградова****ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА ПО ХАРАКТЕРУ РАЗРУШЕНИЯ МАТРИЦЫ КОМПОЗИЦИОННОГО АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО МАТЕРИАЛА**

*Исследована интенсивность изнашивания матрицы породоразрушающих элементов алмазосодержащего бурового инструмента при разрушении пород средней прочности. Установлен волновой последовательно-периодический характер откалывания частиц твердого сплава от рабочей поверхности матрицы породоразрушающих элементов из «славутича», которыми оснащена буровая коронка БК-12 при различных эксплуатационных режимах. Предложен критерий оценки интенсивности изнашивания матрицы, включающий геометрические параметры микробиоин, которые создают бороздки на поверхности вольфрамо-кобальтовой матрицы породоразрушающего элемента.*

*Ключевые слова:* разрушение, алмазосодержащая матрица, горная порода, буровая коронка.

**O. Vinogradova****JUSTIFICATION OF THE INTENSITY OF WEAR OF DRILLING TOOL BY THE NATURE OF DESTRUCTION OF MATRIX OF DIAMOND – COMPOSIT MATERIAL**

*The intensity of wear of a matrix of the rock cutting elements in diamond drilling tool is investigated, when it destroy the rocks of average strength. Established the periodic wave sequence chipping of carbide particles from the working surface of the matrix of diamond cutters from "slavutich", which are equipped a drill bit BK-12, diameter 93 mm. The histograms of distribution of width of micropotholes on the surface of the cutters and distribution of step of carbide microparticles from the working surface of the cutter element are building, in mining of the drill bit by the different operating conditions, that can be used for process performance prediction of the destruction of the diamond rock tool to increase resource of natural diamonds and tungsten-cobalt alloy in the rock cutting tool, reducing the energy intensity of breaking rock, consequently, reducing the cost of exploration.*

*Key words:* destruction, rock, diamonds matrix, rock, drill bit.

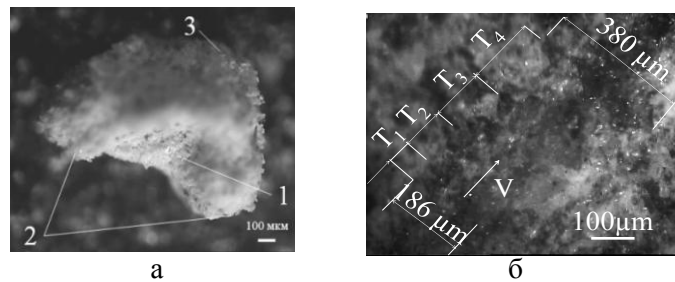
**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Багаторічний досвід алмазного буріння в нашій країні та за кордоном показує, що ефективність застосування породоруйнівного інструменту, в значній мірі, залежить від ступеня відповідності зносостійкості матриці абразивним властивостям гірської породи [1]. Частинки породи, що утворюються в процесі руйнування гірської породи, перебувають між зв'язкою і вибоєм у водному середовищі і представляють собою гідроабразивну масу [2]. Основною причиною руйнування матриці згідно з [1] є дія на неї абразивного шламу гірської породи. Абразивна здатність шламу представляє собою складну функціональну залежність:

$$A=f(MbiP) \quad (1)$$

де  $M$  – мінералогічний склад гірської породи;  $b$  – форма частинок шламу;  $i$  – гранулометричний склад шламу;  $P$  – дія шламу на матеріал матриці.

Одиначною частинкою руйнування гірської породи з відмінними фізико-механічними властивостями в результаті динамічного навантаження на індентори різного типу, як зазначалось в роботі [3] є фрагмент шламу, що утворюється в результаті мікроудару у вибій, та має сталу конфігурацію, що характеризується зоною заглиблення індентору 1, боковими 2 та кінцевою частиною 3, рисунок 1а. Крім того, згідно з математичною моделлю утворення ціликів гірської породи алмазним інструментом [4] руйнування вибою відбувається завдяки хвильовому послідовно-періодичному відколюванню мікро- та макро-фрагментів шламу як, наприклад,

алмазом в циліндричному елементі зі «славутича» з кроком  $t$ , що змінюється від 50 до 160 мкм, рисунок 1б, в результаті руйнування пісковиків Торезького родовища.



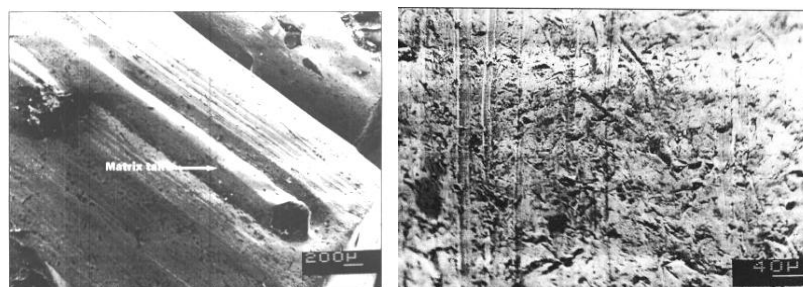
**Рис. 1.** Загальний вигляд: фрагменту продуктів руйнування пісковиків Торезького родовища одиничним алмазним зерном, 1 – зона заглиблення індентору, 2 – бокові частини, 3 – кінцева частина – а; вибою пісковиків Торезького родовища породоруйнівним елементом зі «славутича» з зернистістю алмазів 800/630 мкм та їх відносній концентрації 100 %,  $V$  – вектор швидкості одиничного алмазного зерна,  $T_1$ –  $T_4$  – змінний крок відколювання частинок гірської породи – б

Тобто, руйнування матриці породоруйнівних елементів бурового інструменту відбувається або подрібненими частинками шламу [1] або, як зазначалось у роботі [3] зернами кварцу, що входять до складу гірських порід, здатними руйнувати матрицю бурового інструменту з утворенням продуктів руйнування у вигляді частинок твердого сплаву, що характеризуються всіма складовими геометричними параметрами однієї частинки шламу гірської породи, рис.1, як, наприклад, зоною заглиблення індентору 1, рис.2а, боковими та кінцевою частиною, [5]. Крім того, розмір цих частинок цілком співпадає з розміром мікробибін на поверхні матриці циліндричного породоруйнівного елементу із КАМ, що утворюються зі змінним кроком  $T$  [6].



**Рис. 2.** Загальний вигляд : частинок продуктів руйнування алмазовмісної матриці із твердого сплаву ВК-6, відколотих від породоруйнівного елементу зі «славутича» з зернистістю алмазів 800/630 мкм і їх відносною концентрацією 100 % при руйнуванні пісковиків Торезького родовища, 1 – зона заглиблення індентору (гострої кромки зерна кварцу) – а; поверхні циліндричного елементу зі «славутича»,  $H$  – відстань між утвореними борозенками,  $T$  – період відколювання частинок продуктів руйнування твердого сплаву – б

Наявність мікробибін вищезазначеної конфігурації на поверхні матриці можна спостерігати не тільки в породоруйнівному, а й в камнеоброблюючому інструменті [9], рис. 3.



**Рис.3.** Робоча поверхня алмазного відрізного круга після руйнування граніту

**Метою даної роботи** є дослідження впливу експлуатаційного режиму (підвищення осьового навантаження на бурову коронку БК–12 діаметром 93 мм) на інтенсивність зношування алмазозносної матриці в процесі буріння міцної, твердої гірської породи.

### МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для дослідження інтенсивності зношування алмазозносної матриці в процесі буріння пісковика Торезького родовища ІХ категорії бури мості було використано бурову коронку БК–12 діаметром 93 мм [7], оснащену породоруйнівними елементами рис.4. Корпус бурової коронки 1 оснащено породоруйнівними елементами із композиційного алмазовмісного матеріалу «славутич» 2, які було виготовлено методом гарячого пресування. Породоруйнівні елементи коронки БК–12, робочими різцями яких є алмази зернистості 800/630 мкм при їх відносній концентрації 100,75,125%, виконано з розміром торця: 3×7 мм й запаяно у зазначеній послідовності в радіальному напрямку короночного торця. Руйнування пісковика Торезького родовища відбувалось при застосуванні стану, створеному на базі радіально-свердлильного верстату моделі 2Н58 при частоті обертання бурових коронок  $400 \text{ хв}^{-1}$  і осьовому навантаженні на коронки 500 та 1000 даН. Бурова коронка БК–12 проходила по породі ІХ категорії буримості при осьових навантаженнях 500 та 1000 даН зі швидкістю 1,2 та 1,25 м/год, відповідно. Зносостійкість коронок вимірювалася завдяки застосуванню довжиноміра оптичного моделі Н–313 і становила 0,21 0,35 мм/м [8].



Рис. 4. Бурова коронки: БК–12 діаметром 93 мм, 1– корпус коронки, 2 – породоруйнівні елементи зі «славутича»

Проте ретельне дослідження зносостійкості матриці породоруйнівних елементів вищевказаної бурової коронки відбувалось при застосуванні мікроскопа Ломо Метам Р-1, оснащеного ССD відеокамерою Digital КОСОМ, підключеного до ПЕОМ. Одну із багатьох подібних поверхонь матриці елемента зі «славутича» з розміром торця 3×7 мм після його відпрацювання у буровій коронці БК–12 при осьовому навантаженні 500 даН, представлено на рис. 5.

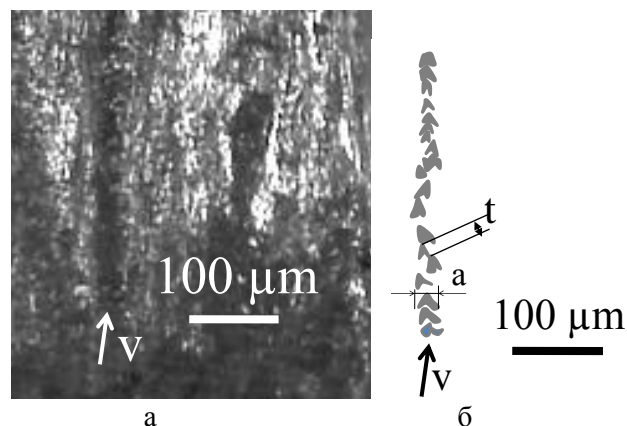
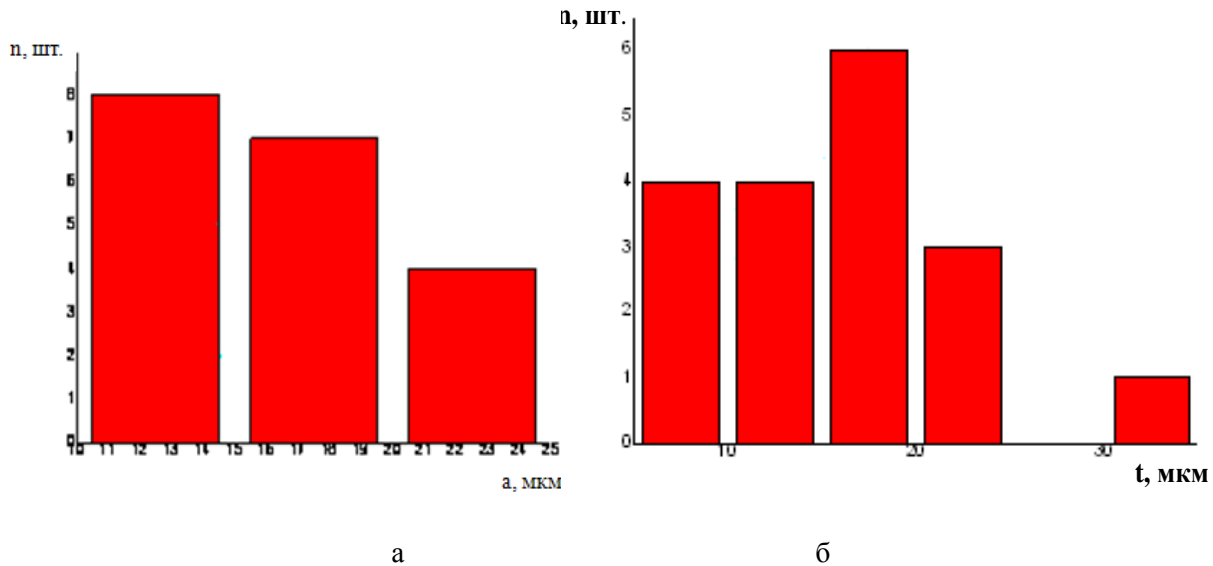


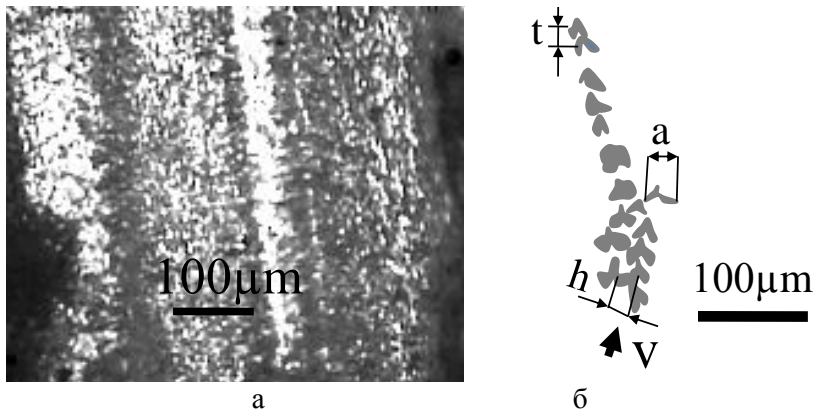
Рис.5. Загальний вигляд: робочої поверхні матриці породоруйнівного елемента зі «славутича» з зернистістю алмазів 800/630 мкм та їх концентрацією 100 % з розміром торця 3×7 мм – а; схематичного зображення мікрорізи (лунок) твердого сплаву у вигляді борозенок на поверхні матриці породоруйнівного інструменту,  $t$  – крок відколювання мікрочастинок твердого сплаву,  $v$  – вектор швидкості відколювання мікрочастинок твердого сплаву – б

На основі побудованих розподілів ширини  $a$  відколотих частинок твердого сплаву від поверхні породоруйнівного елементу в буровій коронці БК-12 та кроку  $t$  їх відколювання, рис. 6, зроблено висновок, що максимальна кількість частинок твердого сплаву має ширину 12,5 мкм, що відколюється від поверхні матриці з кроком 17,5 мкм.



**Рис.6. Частотограма розподілу: ширини  $a$  вибоїн у борозенці, представлений на рис.5б, утвореній на поверхні матриці із твердого сплаву в породоруйнівному елементі зі «славутича» з розміром торця  $3 \times 7$  мм – а; кроку відколювання  $t$  частинок твердого сплаву у борозенці, представлений на рис.5б – б**

При збільшенні осьового навантаження на коронку БК –12 до 1000 даН відбувається більш інтенсивне руйнування матриці породоруйнівних елементів, що характеризується борозенкою на поверхні матриці, що складається з мікробибоїн шириною  $a$ , відколотих з кроком  $t$  на відстані  $h$  від осі сусідньої борозенки, рис.7.

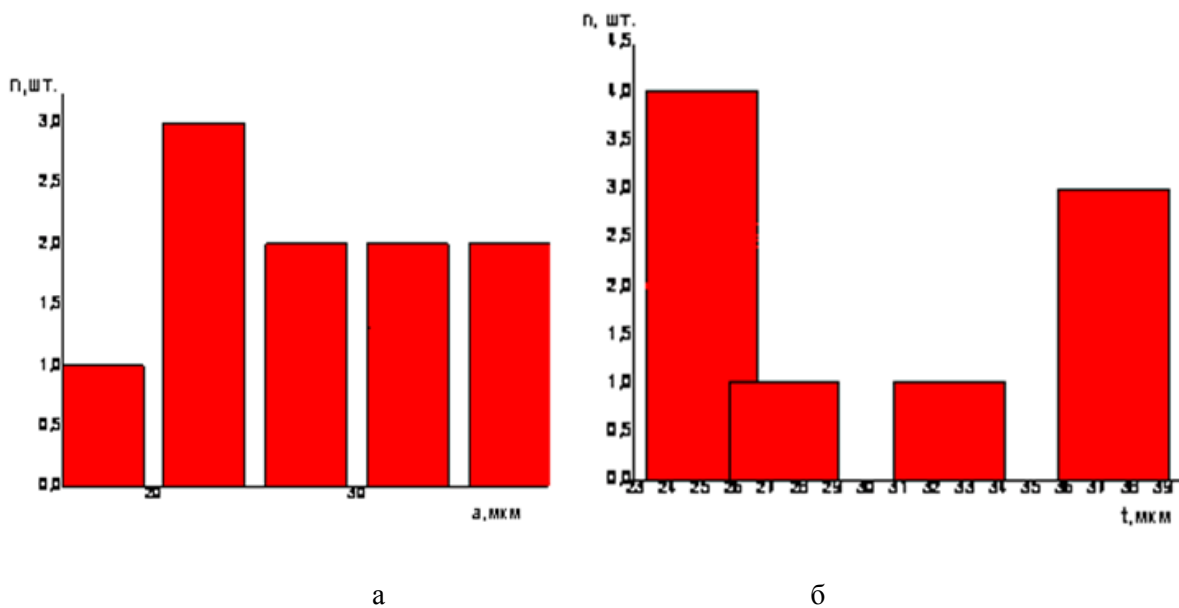


**Рис.7. Загальний вигляд: робочій поверхні матриці породоруйнівного елементу зі «славутича» з зернистістю алмазів 800/630 мкм та їх концентрацією 100 % з розміром торця  $3 \times 7$  мм – а; схематичного зображення мікробибоїн (лунок) твердого сплаву у вигляді борозенок на поверхні матриці породоруйнівного інструменту,  $a$  – ширина лунки,  $h$  – відстань між борозенками,  $t$  – крок відколювання мікрочастинок твердого сплаву,  $v$  – вектор швидкості відколювання мікрочастинок твердого сплаву – б**

На основі окреслених вибоїн, представлених на рис. 7б, побудовано гістограми розподілу ширини  $a$  мікробибоїн твердого сплаву та періоду  $t$  відколювання мікрочастинок твердого сплаву, представлені на рис. 8.

Максимальна ширина відколотих частинок у вибірці становить 40 мкм, тоді як при навантаженні 500 даН вона не перевищує 24,5 мкм. Найбільша кількість частинок твердого сплаву, що відкололись при осьовому навантаженні 1000 даН, має ширину 22,5 мкм, яка у 1,29

більше ширини найбільшої кількості відповідних частинок при осьовому навантаженні на коронку 500 даН.



**Рис.8. Частотограма розподілу: ширини  $a$  вибоїн у борозенці, представлений на рис.7 б, утвореній на поверхні матриці із твердого сплаву в породоруйнівному елементі зі «славутича» з відносною концентрацією алмазів 100 % з розміром торця  $3 \times 7$  мм з – а; кроку відколювання  $t$  частинок твердого сплаву у борозенці – б**

Отже, відбувається збільшення інтенсивності механічного зносу матриці (збільшення габаритних розмірів частинок твердого сплаву по осі абсцис: ширини  $a$  – у середньому, у 1,77 раз та по осі ординат: кроку  $t$  – у середньому, у 1,43 рази, відколотих від матриці породоруйнівного елементу) при збільшенні осьового навантаження на бурову коронку БК-12 діаметром 93 мм у 2 рази.

## ВИСНОВКИ

1. Відповідність розмірів частинок шламу твердого сплаву розмірам «мікробибоїн», що утворюють борозенки на робочій поверхні елементу зі «славутича», свідчить про єдиний характер руйнування крихкої твердої породи і матриці породоруйнівного алмазовмісного інструменту.
2. Руйнування робочої поверхні бурової коронки БК-12 діаметром 93 мм при динамічному навантаженні відбувається з відколюванням від поверхні матриці породоруйнівних елементів частинок твердого сплаву, конфігурація яких ідентична конфігурації частинок продуктів руйнування гірських порід з відмінними фізико-механічними властивостями породоруйнівними інструментами різних типів.
3. Руйнування вольфрамо-кобальтової матриці породоруйнівного алмазовмісного інструменту відбувається зернами кварцу, що є складовими гірських порід, утворюючи на робочій поверхні породоруйнівних елементів борозенки згідно з хвильовим послідовно-періодичним законом.
4. Мікроскопічне дослідження борозенок на робочій поверхні породоруйнівного елементу або габаритних розмірів частинок твердого сплаву дозволяє оцінювати або прогнозувати зносостійкість матриці інструменту завдяки побудові гістограм розподілу ширини борозенки  $a$  та періоду  $t$  відколювання мікрочастинок твердого сплаву в залежності від експлуатаційного режиму (збільшення осьового навантаження на бурову коронку), конструкції інструменту, фізико-механічних властивостей гірської породи та матриці породоруйнівних елементів з метою підвищення ресурсозбереження природних алмазів та вольфрамо-кобальтового сплаву в породоруйнівному інструменті, зменшення енергоємності руйнування гірської породи та, як наслідок, зменшення собівартості геологорозвідувальних робіт.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении под ред. д.т.н. В.Н. Бакуля. – Киев: Наукова думка, 1978. – 232с.
2. Васюк Б.Н. Особенности процесса разрушения трещиноватых горных пород при бурении скважин / Б.Н. Васюк // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – Вып. 8. – С. 23 – 27.
3. Виноградова Е.П. К вопросу о механизме разрушения горной породы функциональными элементами из композиционных алмазосодержащих материалов / Е.П. Виноградова // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – Вып. 14. – С. 14–24.
4. Виноградова О.П. Математичне моделювання утворення ціликів гірської породи при її руйнуванні окремим індентором / О.П.Виноградова, В.А. Дутка, І.А Свешніков // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Випуск 15(1). – С.41–53.
5. Виноградова О.П. Характер взаємного руйнування гірської породи та алмазного породоруйнівного інструменту / О.П.Виноградова // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Випуск 16(2). – С.49–57.
6. Виноградова О.П. Геометричні параметри еталонного фрагменту продуктів руйнування твердих і надтвердих крихких матеріалів алмазним інструментом // Наукові нотатки: міжвузівський зб. наук. пр. за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство». – Луцьк: ЛНТУ, – 2013. – Вип.41, частина 1. – С. 45–52.
7. Пат. к.м. 47724 України, МПК E21B 10/48 Алмазна бурова коронка / Майстренко А. Л., Свешніков І. А., Богданов Р. К., Ісонкін О. М., Виноградова О. П., Людвиченко П. Г. (Україна) – Заявл. 17.07.09; опубл. 25.02.10, Бюл. № 4. – 3 с.
8. Виноградова О.П. Дослідження впливу конструкції алмазовмісних елементів зі слаутича та схеми їх розміщення в бурових коронках на ефективність руйнування гірських порід середньої міцності / О.П. Виноградова, Р.К. Богданов, І.А.Свешніков [та ін.] // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент-техника и технология его изготовления и применения: Сб. научн. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2014. – Вып. 17. – С.139–150.
9. J. Konstanty Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of stone // Industrial Diamond Review, 2000. – P. 55–65.

Стаття надійшла до редакції 25.04.2016.