

**О.М. Ісонкін, Г.Д. Ільницька**, кандидати технічних наук; **Г.А. Петасюк**, д-р техн. наук

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,  
м. Київ, вул. Автозаводська 2. E-mail: almis343@ukr.net*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЛМАЗНИХ ШЛІФПОРОШКІВ З ХАРАКТЕРОМ ЇХНЬОГО ЗНОСУ ПРИ РУЙНУВАННІ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ**

*Мета роботи, результати якої відображено в цій статті, полягала в зіставленні статичної міцності з геометричною формою проекції зерен стандартних високоміцних алмазів і характером зносу їх ріжучої кромки.*

*Для досягнення поставленої мети після буріння алмазними імпрегнованими коронками, оснащеними високоміцними синтетичними алмазами, граніту Коростишівського родовища X категорії буримості з використанням растрового електронного мікроскопу Zeiss EVO 50 виконано дослідження характеру зносу алмазів. Дослідження морфології поверхні синтетичних алмазів АСТ200 показує, що сумарна кількість зерен високої міцності із проекцією у формі правильного шестикутника та квадрата складає 95–96 %. Зношування кристалів алмазу високої міцності згаданої форми зерен відбувається у результаті мікросколювань їх вершин за механізмом крихкого руйнування, внаслідок чого зерна набувають округлу форму і фрагментаційну поверхню конхoidalного типу.*

**Ключові слова:** синтетичні алмази, формоподібність проекції зерен, руйнування, характер зносу, бурові коронки.

### **Вступ**

Продуктивність алмазного буріння і зносостійкість породоруйнівного інструменту при бурінні свердловин в твердих гірських породах значною мірою залежить від якості використовуваних для оснащення бурових коронок високоміцних синтетичних алмазів [1].

Основними характеристиками якості алмазних порошків АС160–АС300, які застосовують для оснащення породоруйнівного геологорозвідувального інструменту, є крупність (зернистість та зерновий склад) та міцнісні характеристики (міцність, однорідність порошку за міцністю, термостабільність).

Раніше проведеними дослідженнями встановлено, що для синтетичних алмазів 3D форма їх зерен є важливим методичним елементом при опосередкованому діагностуванні їх технологічних властивостей, морфометричних характеристик та характеристик різальних кромки. Відомо, що зерна високоміцних шліфпорошків СА мають 3D форму переважно кубооктаєдрів, рідше ніж октаєдрів [2].

Особливістю цього дослідження формоподібності проекції зерен було те, що розглядався укрупнений перелік базових фігур аналогів (БФА) фактичної проекції зерен [3]. В цей перелік входило десять БФА з наступною нумерацією: 1 – овалоподібні фігури (коло та еліпс); 2 – прямокутник; 3 – ромб; 4 – рівнобедрена трапеція; 5 – квадрат, 6 – правильний п'ятикутник, 7 – правильний шестикутник; 8 – правильний восьмикутник; 9 – трикутник; 10 – паралелограм.

Дослідження форм проекції зерен, наведені в [4], свідчать про те, що для шліфпорошків алмазів разом зі збільшенням статичної міцності має місце тенденція до зростання показника формоподібності зерен до базової фігури аналогів (БФА) їх проекції у формі правильного чотирикутника та шестикутника. При цьому має місце тенденція до швидкого зростання міцності з уповільненням росту на фоні високого її значення в області більш високих марок АС125–АС200. Це свідчить про те, що наявність у складі шліфпорошка більшої кількості зерен із проекцією такої форми є ознакою високої статичної міцності.

У якості прикладу наведено фотографії окремих зерен шліфпорошку високоміцних марок (рис. 1).

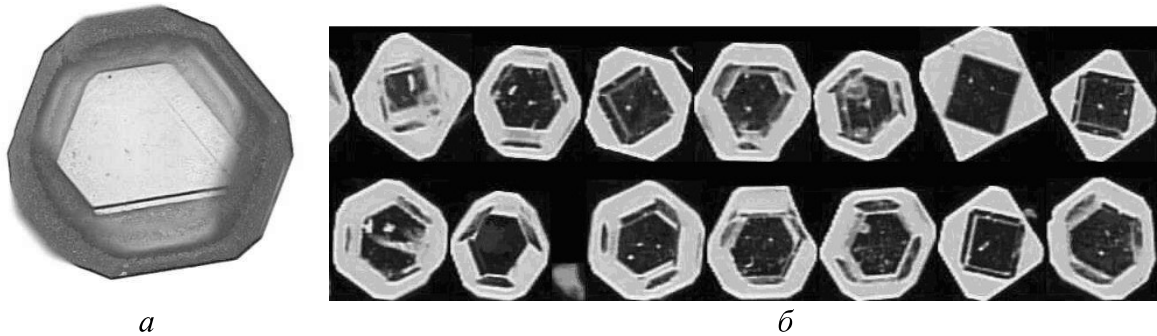


Рис. 1. *DiaInspect*-фотографії зерен шліфпорошків АС200 500/400 з БФА у формі шестикутника (а) та з БФА у формі шестикутника та чотирикутника (б)

У цій роботі зроблено спробу зіставити геометричну формоподібність проекції зерен синтетичних алмазів з характеристиками їхньої міцності та характером їх зносу при бурінні гірської породи алмазними коронками.

#### Методи дослідження

Об'єктом досліджень було обрано алмазні шліфувальні порошки зернистістю 500/400 і 400/315 мкм марки АС200. Автоматизовану діагностику морфометричних характеристик зерен шліфпорошків СА здійснювали за допомогою приладу *DiaInspect.OSM* [4].

Для отримання партії синтетичних алмазів з високою міцністю та низьким ступенем дефектності поверхні застосовували метод адгезійно-магнітного сортування вихідної партії алмазних шліфпорошків [5–8]. Випробування на статичну міцність проводили на приладах ДА-2, ДА-2М та ДДА-33 [9].

Бурові коронки, оснащені алмазами з відібраної партії, відпрацьовували в лабораторних умовах на поєднанні параметрів режиму буріння, які забезпечували найбільш ефективне руйнування гірської породи. Буріння з високою механічною швидкістю 4,8 м/год забезпечувало мінімальні витрати енергії на руйнування гірської породи та відповідало процесу роботи алмазних бурових коронок у виробничих умовах.

Характер зносу окремих ділянок робочої поверхні породоруйнівних елементів бурових коронок і поверхні алмазних зерен після буріння граніту Коростишівського родовища Х категорії буримості досліджували на растровому електронному мікроскопі *Zeiss EVO 50*.

#### Дослідження та результати

Спочатку з вихідної партії алмазів кожної зернистості в результаті проведення адгезійно-магнітного сортування за величиною питомої магнітної сприйнятливості, вмісту домішок і включень в кристалах було відібрано партії синтетичних алмазів високої міцності і низьким ступенем дефектності поверхні.

Як видно із рис. 2, в більшості випадків кристали відібраних алмазів мають гладкі поверхні граней і не мають в собі видимих дефектів.

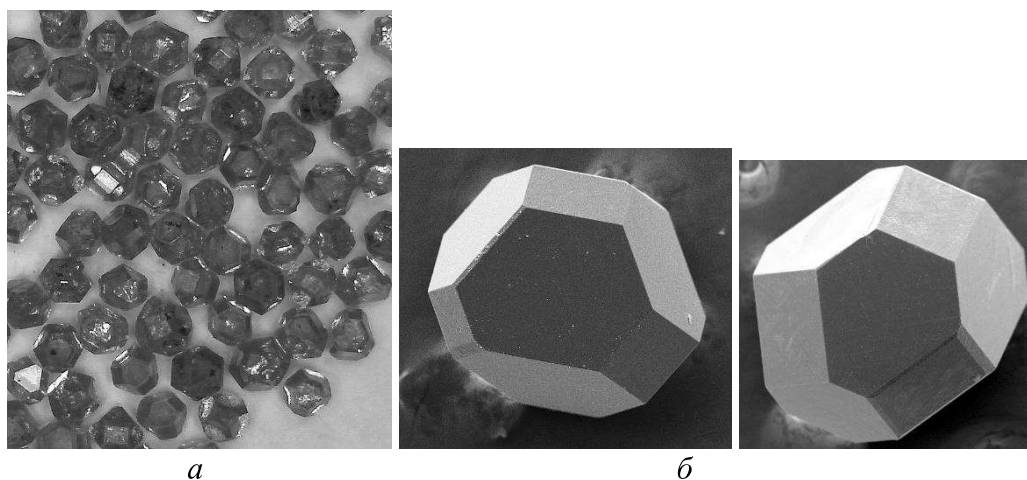


Рис. 2. Вигляд алмазів вихідної партії (а) та алмазів, відібраних у результаті сортування (б)

За результатами виконаних досліджень в таблиці подано всі показники диференціальної формоподібності проекції зерен до БФА для шліфпорошків марок АС200 500/400 та 400/315.

**Показники диференціальної формоподібності ( , %) проекції зерен шліфпорошків марок АС200 зернистості 500/400 та 400/315**

| Базові фігури аналогів (БФА)     | Зернистість алмазів, мкм |              |
|----------------------------------|--------------------------|--------------|
|                                  | 400/315                  | 500/400      |
| коло та еліпс                    | 10,21                    | 0,37         |
| прямокутник                      | 0,00                     | 0,73         |
| ромб                             | 0,00                     | 0,37         |
| рівнобедрена трапеція            | 1,21                     | 1,10         |
| квадрат                          | <b>12,50</b>             | <b>10,62</b> |
| правильний п'ятикутник           | 2,02                     | 0,73         |
| правильний шестикутник           | <b>82,66</b>             | <b>85,71</b> |
| правильний восьмикутник          | 0,00                     | 0,00         |
| трикутник                        | 0,40                     | 0,37         |
| паралелограм                     | 0,00                     | 0,00         |
| квадрат + правильний шестикутник | <b>95,16</b>             | <b>96,33</b> |
| Статична міцність алмазів Р, Н   | 350,0                    | 402,5        |

Аналіз даних, наведених у таблиці, свідчить про те, що для досліджених алмазів характерне домінуюче значення показників формоподібності до БФА у формі квадрата та правильного шестикутника. При цьому подібна поляризація показників досить істотна і може бути пояснена подальшим переходом в цій області до шліфпорошків високоміцних марок. Для кожної зернистості спостерігається аналогічна картина розподілу зерен (з незначними відхиленнями) за диференціальним показником формоподібності до укрупнених БФА проекцій, а також співвідношення між показниками формоподібності. На підставі цього можна зробити висновок про те, що форма проекції зерен більш пов'язана з міцністю шліфпорошку, чим з його зернистістю. Серед виявлених форм проекції зерен шліфпорошків СА переважають правильний шестикутник та квадрат. При цьому проекцію у формі квадрата дає кубооктаедр, який лежить на грані у формі квадрата, на площину, паралельну цій грані. Якщо ж кристал у формі кубооктаедра лежить на грані у формі правильного трикутника, то проекцією буде правильний шестикутник. Таку ж форму проекції завжди дає октаедр.

Для шліфпорошків СА марок АС200 сумарна кількість зерен із проекцією у формі правильного шестикутника та квадрата складає 95–96 %. Оскільки проекцію у формі зазначених 2D фігур дають кристали у формі кубооктаедра та октаедра, це дає підстави зробити висновок про те, що саме така 3D форма зерен характерна для високоміцних шліфпорошків синтетичного алмазу.

Для дослідження характеру зносу зерен високоміцних алмазів було виготовлено алмазні імпрегновані бурові коронки діаметром 76 мм з відносною концентрацією алмазів у робочому шарі 100. Оскільки досліджувані алмази двох зернистостей мають фактично однакову кількість зерен з проекцією у формі правильного шестикутника та квадрата (таблиця), для оснащення коронок використовували лише їхню партію зернистістю 500/400.

Дослідження морфології породоруйнівних елементів робочої поверхні бурової коронки, проведені після буріння граніту Коростишевського родовища, показали високий ступінь оголення алмазів. Макросколи вершин найбільше виступаючих з матриці алмазів, що беруть активну участь у руйнуванні гірської породи, спостерігаються в мінімальній кількості (рис. 3).

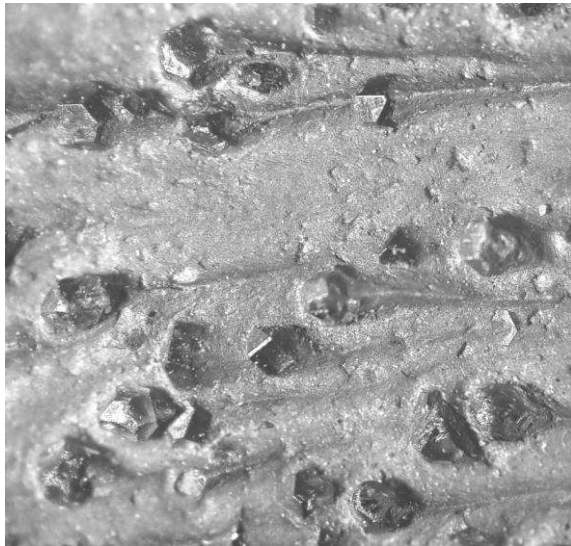


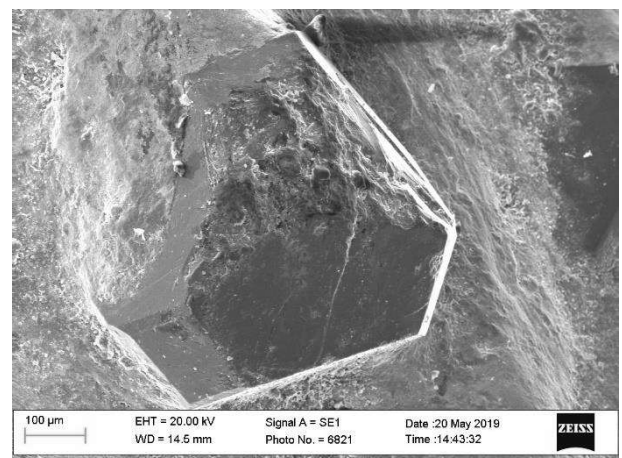
Рис. 3. Вигляд фрагмента робочої поверхні бурової коронки, оснащеної алмазами відібраної партії

Більшість високоміцних алмазних зерен на робочій поверхні коронки під час руйнування гірської породи зберігають свою форму і цілісність. На підставі аналізу зображення фрагмента робочої поверхні коронки, наведеного на рис. 3, можна зробити висновок, що зерна алмазу, що зберегли цілісність, забезпечують ефективне руйнування гірської породи. У більшості випадків в результаті гідроабразивного зносу матриці, прилеглої безпосередньо до алмазів, спостерігається практично повне фронтальне їхнє оголення.

На основі аналізу слідів руйнування поверхні алмазних зерен, наведених на рис.3, можна відзначити, що найбільш характерним видом зносу високоміцних алмазів є мікросколи окремих елементів на їх гранях, що безпосередньо руйнують гірську породу (рис. 4).



а



б

Рис. 4. Вигляд окремих зерен алмазів з характерними слідами зношування

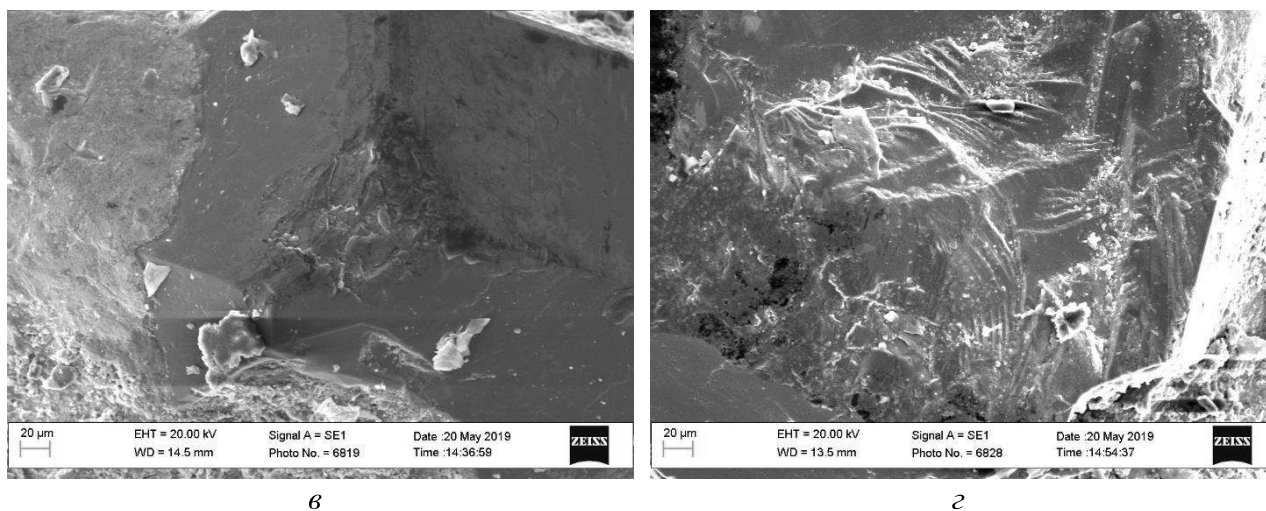


Рис. 4 (закінчення)

На наш погляд, це пояснюється тим, що через шорстку поверхню гірської породи на вибої свердловини алмази при руйнуванні її виступів зазнають циклічних навантажень. Крихке руйнування алмазів відбувається внаслідок утворення та розвитку мережі дефектів у їх поверхневому шарі. Множинні зіткнення поверхні алмазу з гірською породою, що мають стохастичний характер, призводять до періодичного виникнення в місцях зіткнень напруг стиснення – розтягування, підвищення температури поверхні кристала, утворення порушеного приповерхневого шару. Накопичення в приповерхневому шарі дефектів у формі окремих мікротріщин призводить до утворення порушеного шару з об'ємної мережі мікротріщин.

Це призводить до утворення мікросколів на гранях вершин алмазів, що безпосередньо руйнують гірську породу, з утворенням (рис. 4 з) фрагментів лускатого виду. Останнє може бути обумовлено високими температурними напругами на поверхні алмазів при безпосередньому контакті з гірською породою в процесі її руйнування. В результаті мікросколювання вершина алмазного зерна набуває округлу форму і фрагментаційну поверхню конхoidalного типу. При цьому морфологія поверхні зносу кристалів алмазу може свідчити про наявність механізму втомного руйнування.

### Висновки

Дослідження морфології поверхні синтетичних алмазів АСТ200 з високим показником статичної міцності зерен та низким ступенем дефектності їх поверхні показали, що у їх пробі сумарна кількість зерен із проекцією у формі правильного шестикутника та квадрата складає 95–96 %.

Зношування кристалів алмазу за механізмом втомного руйнування призводить до того, що кристали руйнуються до затуплення вершин і граней. Переважний механізм зносу високоміцних алмазів, що найбільш виступають на робочій поверхні і беруть активну участь у руйнуванні гірської породи – крихке руйнування, яке супроводжується механізмом втомного руйнування.

При руйнуванні гірської породи в міру збільшення кількості контактів алмазу з її виступами в результаті циклічного термодинамічного впливу в його приповерхневому шарі виникають локальні області термодинамічних напруг, що сприяють утворенню мережі мікротріщин з подальшим утворенням фрагментів зносу лускатого виду.

A.M. Isonkin, H.D. Ilnytska, G.A. Petasyuk

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

## STUDY OF THE RELATIONSHIP OF THE PROPERTIES OF DIAMOND GRINDING POWDER WITH THE CHARACTER OF THEIR WEAR IN THE DESTRUCTION OF ROCKS

*The purpose of the work, the results of which are reflected in this article, was to compare the static strength with the geometric shape of the projection of the grains of standard high-strength diamonds and the nature of wear of their cutting edge.*

*To achieve the goal, after drilling the granite of the Korostyshivsky deposit of the X drillability category with diamond-impregnated bits, equipped with high-strength synthetic diamonds, a study of the nature of diamond wear was performed using a Zeiss EVO 50 scanning electron microscope.*

*A study of the surface morphology of AST200 synthetic diamonds shows that the total number of high-strength grains with a regular hexagon and square projection is 95–96%. Wear of high-strength diamond crystals of the mentioned grain shape occurs as a result of microchipping of their tops by the mechanism of brittle fracture, as a result of which the grain acquires a rounded shape and a fragmentation surface of the conchoidal type.*

**Key words:** *synthetic diamonds, shape similarity of grain projection, destruction, character of wear, drill bits.*

### Література

1. Зыбинский П.В., Богданов Р.К., Исонкин А.М., Загора А.П. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении. – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 244 с.
2. Физические свойства алмаза / Под ред. Н. В. Новикова. – Киев: Наук. думка, 1987. – 187 с.
3. Petasyuk G.A. System–Analogue Method of Identification of Geometric Shape of the Abrasive Grain Projection // Journal of Superhard Materials. – 2016. – Vol. 38, N 4. – P. 277–287.
4. List E., Frenzel J, Vollstadt H. A new system for single particle strength testing of grinding powders // Industrial diamond review. – 2006. – N 1. – P. 42–47.
5. ТУ У 28.4-05417344-2003. Шлифпорошки синтетических алмазов марок АС200, АС250, АС300, АС350, АС400. Технические условия. Введ. 01.09.03. – К.: Госстандарт Украины, 2003. – 10 с.
6. ДСТУ 3292–95 «Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови» – Введ. 01.01.96. Держстандарт України. – 72 с.
7. М88 Украины 90.256–2004. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – 10 с.
8. Novikov N.V., Nikitin Y.I., Petasyuk G.A. Computer-based diagnostic sieve for identification of grit size and grit size distribution in microscopic samples of diamond grits // Journal of Superhard Materials. – 2003. – Vol. 25, N 3. – P. 68–78.
9. Лошак М.Г., Александрова Л.О., Косенчук Т.О. Міцність кристалів алмазу за статичного навантаження // Метрологія та прилади. – 2013.– № 2 (40).– С. 11–15.

Надійшла 26.07.22

### References

1. Zybinskii, P.V., Bogdanov R.K., Isonkin A.M., et. al. (2007). *Sverkhтвердые материалы в геологоразведочном бурении*. –Donetsk: Nord-Press, [in Russian].

2. Novikov, N.V. (Eds). (1987). *Fizicheskie svoistva almaza [Physical properties of diamond]*. Kiev: Nauk. dumka [in Russian].
3. Petasyuk G.A. (2016). System-Analogue Method of Identification of Geometric Shape of the Abrasive Grain Projection. *Journal of Superhard Materials*. 38, 4, 277–287.
4. List, E., Frenzel, J., & Vollstadt, H. (2006). A new system for single particle strength testing of grinding powders. *Industrial diamond review*. 1, 42–47.
5. Shlifporoshki sinteticheskikhalmazov marok AS200, AS250, AS300, AS350, AS400 [Grinding powders of synthetic diamonds grades AS200, AS250, AS300, AS350, AS400] (2003). *TU U 28.4-05417344-2003 from 01<sup>th</sup> September 2003*. Kiev: Gosstandart Ukrainy [in Russian].
6. Poroshky almazni syntetychni. Zahalni tekhnichni umovy. [Synthetic Diamond Powders. General Technical Specifications] (1995). *DSTU 3292–95 from 01<sup>th</sup> January 1996*. Kiev: Derzhstandart Ukrainy. [in Ukrainian].
7. Metodika opredeleniia udelnoi magnitnoi vospriimchivosti poroshkov sverhtverdykh materialov (STM) [Method for determining the specific magnetic susceptibility of powders of superhard materials (SHM)]. (2004). *M88 Ukrainy 90.256-2004*. Kiev: ISM im. V. N. Bakulia NAN Ukrainy [in Russian].
8. Novikov, N.V., Nikitin, Y.I., & Petasyuk, G.A. (2003). Computer-based diagnostic sieve for identification of grit size and grit size distribution in microscopic samples of diamond grits. *Journal of Superhard Materials*. 25, 3, 68–78.
9. Loshak, M.H., Aleksandrova, L.O., & Kosenchuk T.O. (2013). Mitsnist krystaliv almazu za statychnoho navantazhennia [Density of diamond crystals for static loading]. *Metrolohiya ta prylady – Metrology and devices*. 2, 11–15 [in Ukrainian].

УДК 622.248.3

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-27-33

**М.Є. Чернова<sup>1</sup>, Я.В. Кунцяк<sup>2</sup>**, доктора технічних наук

<sup>1</sup>Івано-Франківський Національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, 76019, м. Івано-Франківськ, e-mail: miracherri1@gmail.com

<sup>2</sup>ПрАТ НДІКБ бурового інструменту, пр. Палладіна, 44, 03680, м. Київ, Україна,  
e-mail: 5361013@ukr.net

## **ФІЗИЧНІ Й КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ КОМПОНУВАННЯ НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ З ОБВАЖНЕНИХ БУРИЛЬНИХ ТРУБ ЗМІННОГО МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ**

Завданням досліджень, що розглядаються у наведеній статті, є шляхи покращення та підвищення швидкості процесів буріння свердловин. Методологія досягнення поставленої мети базується на підборі та застосуванні математичної моделі, яка враховує фізико-механічні навантаження, що їх сприймає бурильна колона у своїй нижній частині. Використання в компонованні низу бурильної колони (КНБК) обважнених бурильних труб (ОБТ) змінної жорсткості, що спричинює плавну зміну моменту інерції конструкції, частково вирішує дану проблему. Результати, отримані шляхом проведення теоретичних та промислових досліджень, підтвердили доцільність використання обважнених бурильних труб змінного моменту інерції (ОБТЗМІ), за рахунок плавного перерозподілу напружень у перехідній зоні їх з'єднань. Такий технологічний підхід забезпечує скорочення термінів будівництва та запуску в експлуатацію бурових свердловин на 30÷60%.

**Ключові слова:** буріння, момент інерції, КНБК, ОБТ.