

Ye. R. Mrozek¹, I. I. Narytnyk², A. I. Vdovychenko³

¹S.K. "Ukrburservis", Kyiv, Ukraine

²PC Ukrnafta, Kyiv, Ukraine

³Academy of Technological Sciences of Ukraine, Kyiv

EXPERIENCE OF DRILLING OF HIDDEN-DIRECTED AND HORIZONTAL BOREHOLES

The paper discusses the advantages, disadvantages and prospects of using electric drilling. Drilling using adjustable electric drills (DC motors) combines the benefits of rotary drilling, turbine drilling, and drilling with hydraulic downhole motors. It provides the ability to control the frequency of rotation of the bit, regardless of the parameters and type of agent for the removal of cuttings, significantly expands the range of drill bits and makes it possible to obtain a stable downhole signal. The first steps were taken by Ukrainian oil workers and scientists - a prototype of a DC electric drill was developed.

Key words: slant drilling, branched wells, horizontal drilling, electric drill.

В работе рассмотрены преимущества, недостатки и перспективы использования электробурения. Бурение с использованием регулируемых электробуров (двигатели постоянного тока) сочетает преимущества роторного бурения, турбинного бурения и бурения гидравлическими забойными двигателями. Оно дает возможность регулирования частоты вращения долота независимо от параметров и типа агента для выноса выбуренной породы, значительно расширяет гамму буровых долот и дает возможность получения устойчивого забойного сигнала. Украинскими нефтяниками и учеными были сделаны первые шаги – разработан опытный образец электробура постоянного тока.

Ключевые слова: наклонно-направленное бурение, разветвленные скважины, горизонтальное бурение, электробур.

УДК 622.24.051

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-85-92

А. М. Исонкин, канд. техн. наук, **В. Н. Ткач**, д-р физ.-мат. наук.

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, ул. Автозаводская 2,
04074, г. Киев, e-mail: almis28@ism.kiev.ua*

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЖЕНИЙ НА МЕХАНИЗМ ИЗНОСА ВЫСОКОПРОЧНЫХ АЛМАЗОВ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

В работе отражены результаты исследований механизма износа высокопрочных синтетических алмазов при разрушении ими горной породы. Контактное взаимодействие алмазов с выступами разрушаемой горной породы приводит к образованию сети микротрещин, характерных для механизма усталостного разрушения, и может быть результатом циклического возникновения локальных областей термодинамических напряжений, что приводит к микроскалыванию граней их вершин и отделению с их поверхности фрагментов чешуйчатого вида.

Ключевые слова: синтетические алмазы, буровые коронки, механизм износа, микротрещина.

Введение

Алмазное бурение на настоящее время остается одним из основных технологических методов геологической разведки месторождений полезных ископаемых. Достижение высоких механических скоростей бурения возможно только при экстремальных условиях работы породоразрушающего инструмента, характеризующихся высокими окружными скоростями и контактными нагрузками [1].

Виды и интенсивность износа алмазного инструмента при бурении определяются уровнем и соотношением динамических и тепловых нагрузок, воспринимаемых алмазами и матричной композицией, их теплофизическими и физико-механическими свойствами, а

также свойствами промывочной жидкости и горной породы. Особенностью взаимодействия алмазного бурового инструмента с горной породой и его абразивного изнашивания является то, что из-за разновысотности выступания алмазов из матрицы эти воздействия смещены во времени и имеют циклический характер.

Взаимодействие алмаза с горной породой носит импульсный характер, а разрушение горной породы происходит скачкообразно. Алмазы движутся по концентрическим окружностям и периодически скалывают частицы породы. После скола алмаз некоторое время движется, не встречая сопротивления, затем происходит новый контакт с горной породой и цикл повторяется [2, 3].

Исследования бурения алмазными коронками кварцевого оптического стекла с использованием скоростной киносъемки позволили установить, что только 5-25 % алмазов, выступающих из торца коронки, участвуют в его разрушении, а остальные находятся с ним в упругом контакте [4].

Частота взаимодействия алмаза с горной породой составляет 300–700 Гц и выше. При пересечении алмазом трещины или более твердого включения усилие на алмазе возрастает в 1,5-2 раз, и именно резким возрастанием усилия определяется возможный скол алмаза. Продолжительность импульса составляет десятки миллисекунд, а усилие на алмазе достигает максимальных значений за сотые и тысячные доли секунды [5].

Характер износа алмазов в алмазно-абразивном инструменте, по мнению разных исследователей, различен [6-9] и рассматривается как сочетание нескольких процессов, способных вызвать адгезионный, абразивный и диффузионный виды износа в процессе трения, а также хрупкое разрушение в виде микро- и макроскалывания. При этом преобладание одного из указанных видов износа определяется качеством обрабатываемого материала и режимом работы алмазного инструмента.

В работе [10] отмечена целесообразность проведения анализа видов изнашивания алмазов, исходя из характера их разупрочнения, которое, с одной стороны, является результатом внешнего воздействия, с другой, определяет процесс последующего разрушения. Анализ экспериментальных данных показывает, что алмазам, как и другим материалам, присущи такие виды разупрочнения, как: механическое, тепловое, адсорбционное и химическое, связанные с изменением их физико-механических свойств и проявлением повышенной химической активности по отношению к порообразующим минералам при трении о монолит горной породы. В этой связи предлагается различать три типа изнашивания алмаза: механическое, физико-механическое и химико-механическое.

Механическое изнашивание алмаза происходит в результате скалывания макро- или микрообъемов зерна, которое может иметь место при недостаточной прочности зерна, обусловленной наличием скрытых дефектов, не обнаруженных на стадиях обработки и сортировки алмазного сырья. Процесс изнашивания алмаза путем скалывания макрообъемов в случае существенного повреждения его контактной поверхности является крайне нежелательным, поскольку приводит к катастрофическому снижению стойкости инструмента.

С ростом окружных скоростей и контактных нагрузок существует уровень предельной забойной мощности, превышение которого вызывает повышение температуры в зоне контакта породоразрушающего инструмента с горной породой. Измерения температуры на контактной поверхности алмазной буровой коронки показали, что наиболее значительные ее значения (в пределах 1000 °С и более) возникают непосредственно в зоне контакта алмазов с горной породой. Градиент снижения температуры по высоте алмаза весьма значителен, и нагрев локализуется в поверхностном слое толщиной 5-20 мкм [11]. При этом градиент температуры по алмазу и материалу матрицы достаточно велик, а область развития высоких температур не превышает величины 100 мкм [12].

При нагреве контактной поверхности алмазного зерна возможно формирование определенных термодинамических условий, при которых происходит химическое взаимодействие алмазов с горной породой [10, 13].

Возможность адгезионного износа алмазов была оценена по возможности их химического взаимодействия с минералами, слагающими горные породы – габбро, гранит, мрамор и кварцит, с помощью термодинамических расчетов. Учитывая то, что реакция взаимодействия алмаза с оксидами железа принципиально возможна уже при температурах 600 К, содержащие их минералы должны интенсивно взаимодействовать с алмазами по реакции восстановления, вызывая их более интенсивный износ.

Однако расчетные данные и приведенные соображения о возможных процессах, протекающих в зоне разрушения горной породы, не отражают всей полноты происходящих процессов. При этом оценить влияние химико-механического изнашивания путем исследования морфологии поверхности алмазов не представляется возможным по причине того, что невозможно определение наличия следов окисления из-за разупрочнения при этом поверхности алмазов и ее абразивного износа.

С учетом изложенного, целью данной работы являлись исследования механизма износа поверхности высокопрочных алмазных зерен при воздействии на них термодинамических циклических нагрузений в процессе разрушения горной породы в процессе бурения.

Методика исследования

Объектом исследований были выбраны импрегнированные буровые коронки типа БС–06 диаметром 76 мм, оснащенные высокопрочными алмазами АСТ 200 зернистостью 500/400.

Характер износа отдельных участков рабочей поверхности коронки и поверхности алмазных зерен после бурения коростышевского гранита в лабораторных условиях при окружной скорости вращения 1000 мин^{-1} и фиксированном углублении за оборот 80 мкм исследовали бинокулярным оптическим микроскопом МБС-9 и растровым электронным микроскопом Zeiss EVO 50.

Коронка обрабатывалась на сочетании параметров режима бурения, обеспечивающем наиболее эффективное разрушение горной породы, характеризующемся высокой скоростью бурения 4,8 м/ч и минимальными затратами на разрушение горной породы, что соответствовало условиям разрушения горной породы алмазными буровыми коронками в производственных условиях.

Результаты и обсуждение

Исследования морфологии рабочей поверхности показали высокую степень обнажения алмазов. Практически не наблюдается макросколов вершин наиболее выступающих из матрицы алмазов, принимающих активное участие в разрушении горной породы (рис. 1).

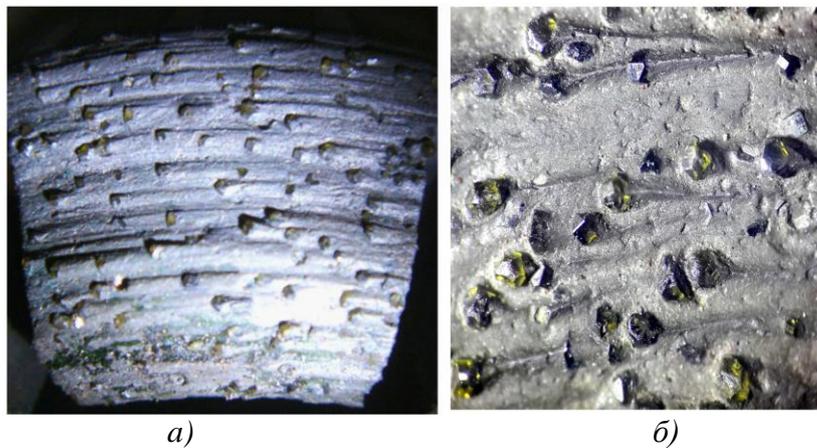
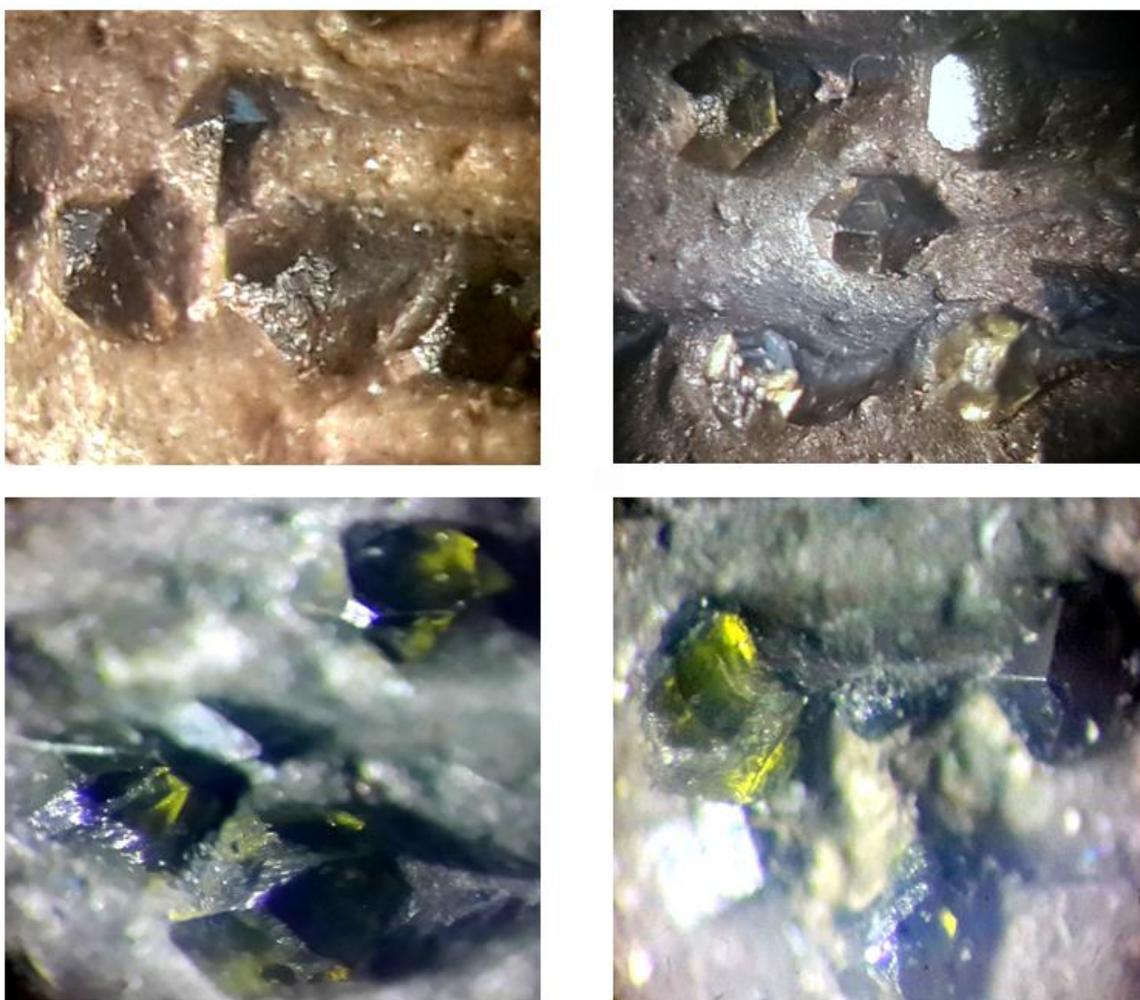


Рис.1. Вид рабочего торца сектора буровой коронки:
а) общий вид; б) вид участка поверхности при увеличении $56\times$

Большинство высокопрочных алмазных зерен на рабочей поверхности коронки во время разрушения горной породы сохраняют свою форму и целостность. Из-за шероховатой поверхности горной породы на забое скважины алмазы при разрушении ее выступов испытывают циклические термодинамические нагрузки. Это приводит к образованию микросколов на гранях вершин алмазов, непосредственно разрушающих горную породу (рис. 2)



*Рис. 2. Вид групп алмазов на рабочей поверхности коронки
с микросколами на рабочих гранях*

В результате микроскалываний вершина алмазного зерна приобретает округлую форму и фрагментационную поверхность конхоидального типа. Микроскалывания обусловлены трещинами, возникшими в контактном слое алмазного зерна.

При анализе изображений алмазных зерен, полученных с использованием растровой электронной микроскопии и приведенных на рис. 3, видно, что морфология поверхности износа кристаллов алмаза является характерной для механизма хрупкого разрушения.

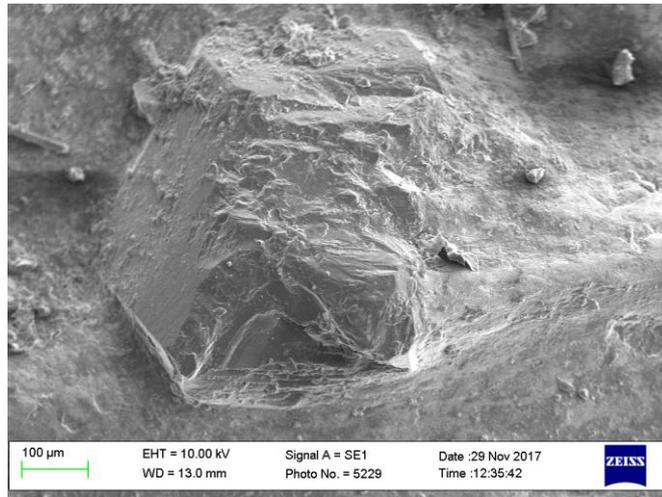


Рис. 3. Характерный вид поверхности рабочей грани алмаза, активно разрушающей горную породу

Хрупкое разрушение алмазов происходит вследствие образования и развития сети дефектов в их поверхностном слое. Множественные соударения поверхности алмаза с горной породой, имеющие стохастический характер, приводят к периодическому возникновению в местах соударений напряжений сжатия-растяжения, повышению температуры поверхности кристалла, образованию нарушенного приповерхностного слоя.

По мере увеличения количества контактов алмаза с выступами разрушаемой горной породы в его приповерхностном слое возникают локальные области термодинамических напряжений, способствующие образованию сети микротрещин, что характерно для механизма усталостного разрушения (рис. 4).

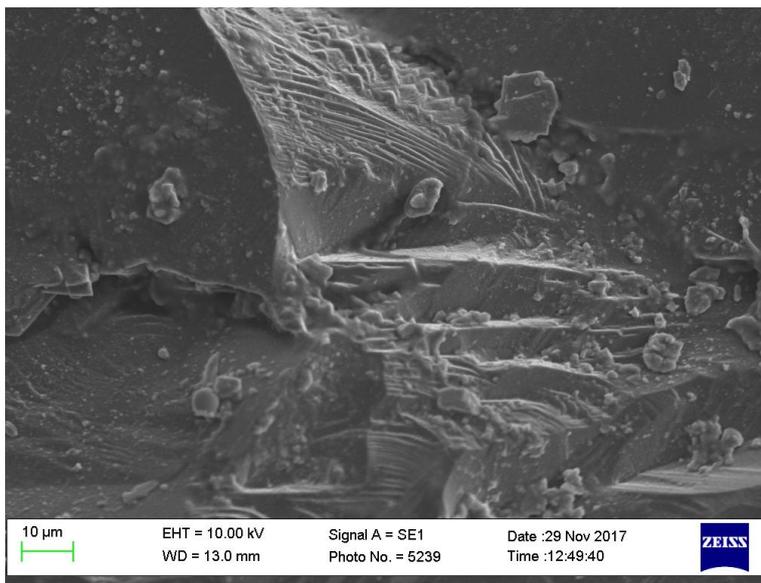


Рис. 4. Вид нарушенного слоя из объемной сети микротрещин на поверхности алмаза, контактирующего с горной породой.

Последующее образование на поверхности граней алмазов микросколов можно рассматривать как износ, соответствующий по морфологическим признакам механизму хрупкого разрушения. Накопление в приповерхностном слое дефектов в форме отдельных микротрещин приводит к образованию нарушенного слоя из объемной сети микротрещин, плотность которых в дефектном слое различна.

Фрагменты чешуйчатой формы, отделившиеся от алмаза в результате микроскалывания, имеют размеры от 2-4 мкм и более. Последующее развитие трещин вызывает макросколы более 20 мкм (рис. 5).

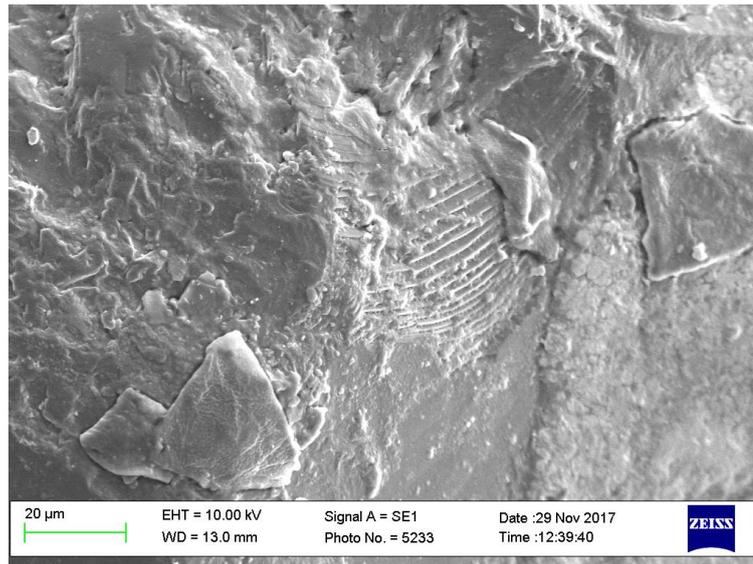


Рис. 5. Образование фрагментов чешуйчатого вида в результате циклического термодинамического воздействия при разрушении горной породы.

Выводы

Морфология поверхности высокопрочных алмазов показывает, что эксплуатационные характеристики алмазного бурового инструмента определяются механизмом износа кристаллов алмаза.

Износ кристаллов алмаза по механизму хрупкого разрушения приводит к тому, что кристаллы разрушаются до затупления вершин и граней. Преобладающему механизму износа наиболее выступающих на рабочей поверхности и принимающих активное участие в разрушении горной породы высокопрочных алмазов – хрупкому разрушению – сопутствуют механизмы усталостного разрушения. При разрушении горной породы по мере увеличения количества контактов алмаза с ее выступами в результате циклического термодинамического воздействия в его приповерхностном слое возникают локальные области термодинамических напряжений, способствующие образованию сети микротрещин с последующим образованием фрагментов чешуйчатого вида.

У роботі відображені результати досліджень механізму зносу високоміцних синтетичних алмазів при руйнуванні ними гірської породи. Контактуювання алмазів з виступами гірської породи, що руйнується, призводить до утворення мережі микротріщин, характерних для механізму втомного руйнування, і може бути результатом циклічного виникнення локальних областей термодинамічних напруг, що призводить до мікросколювання граней їх вершин і відділенню з їх поверхні фрагментів лускатого виду.

Ключові слова: синтетичні алмази, бурові коронки, механізм зносу, микротріщина.

A. M. Isonkin, V. N. Tkach

V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

EFFECT OF THERMODYNAMIC CYCLIC LOADS FOR HIGH-STRENGTH DIAMOND WEAR MECHANISM DESTROYING MOUNTAIN BREED

The paper reflects the results of studies of the mechanism of wear of high-strength synthetic diamonds in the process of the rock-cutting. The contact of diamonds with protrusions of the rock to be destroyed leads to the formation of a network of microcracks characteristic of the fatigue fracture mechanism, and may be the result of cyclical appearance of local areas of thermodynamic stresses, which leads to the microcalling of the faces of their tops and the separation of scaly-like fragments from their surface.

Key words: *synthetic diamonds, drill bits, wear mechanism, micro fracture*

Литература

1. Соловьев Н. В. Геологоразведочный породоразрушающий инструмент на основе алмазов и сверхтвердых материалов / Соловьев Н. В., Башкатов Д. Н., Третьяк А. Я. и др. – Новочеркасск: ЮГРТУ(НПИ), 2009.
2. Кичигин А. Ф. Алмазный инструмент для разрушения твердых горных пород / Кичигин А. Ф., Игнатов С. Н., Климов Ю. И. и др. – М.: Недра, 1980. – 159 с.
3. Курочкин П. Н. О динамике работы алмазов в буровых коронках и долотах // Изв. Вузов. Геология и разведка. – 1974. – №11. С.144–151.
4. Воробьев Г. А., Новожилов Б. А., Вареца С. А. Режимы работы алмазной коронки и их исследование с помощью скоростной киносъемки // Изв. Вузов. Геол. и разведка. – 1989. – №9. С. 123–128.
5. Башкатов Д.Н., Хромин Е.Д., Вареца С.А. Нестационарность забойных процессов в алмазном бурении // Сб. науч. тр. – С–Пб.: ВИТР. – 1992. С.46–53.
6. Сил М. Трение и износ алмаза // Сб. докл. Лондон. конф. по смазке и износу. – М.: – 1959. С. 57–61.
7. Лоладзе Т. Н., Бокучава Т. В. Износ алмазов и алмазных кругов. – М.: Машиностроение, 1967. – 112 с.
8. Тараканов С. И. Теория работы мелкоалмазной кольцевой коронки на забое // Материалы совещ. по алмаз. бурению. – Апатиты, – 1966. С.12–18.
9. Поверхностная прочность материалов при трении / Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А. К. и др. – Киев: Техніка, 1976. – 292 с.
10. Ципин Н. В. Износостойкость композиционных алмазосодержащих материалов для бурового инструмента. – Киев: Наук. думка, 1983. – 192 с.
11. Исаев М. М., Пономарев В. В. Основы прогрессивной технологии алмазного бурения геологоразведочных скважин. – М.: Недра, 1975. – 287 с.
12. Горшков Л. К., Гореликов В. Г. Температурные режимы алмазного бурения. – М.: Недра, 1992. – 193 с.
13. Термодинамические исследования возможности химического взаимодействия зерен СТМ и матрицы инструмента с горными породами / Шилов А. Е., Кухаренко С. А., Исонкин А. М. и др. // Сб. науч. тр. "Композиты из сверхтвердых материалов для шлифовального инструмента". – Киев, ИСМ АН УССР, – 1991. С. 4–13.

Поступила 21.05.19

References

1. Solov'yev N. V., Bashkatov D. N., Tret'yak A. Ya. et al. (2009). Geologorazvedochnyi porodorazrushaiushchii instrument na osnovealmazov i sverkhtverdykh materialov [Geological survey rock-cutting tools based on diamonds and superhard materials] Novocherkassk: YUGRTU(NPI) [in Russian].
2. Kichigin A. F., Ignatov S. N., Klimov Yu. I. et al. (1980). Almaznyi instrument dlia razrusheniia tverdykh gornyykh porod [Diamond tools for the destruction of solid rocks] Moscow: Nedra [in Russian].
3. Kurochkin P. N. (1974). O dinamike rabotyalmazov v burovykh koronkakh i dolotakh [On the dynamics of diamonds in drill bits and bits] Izv. Vuzov. Geologiya i razvedka – *News of universities. Geology and exploration*, 11, 144-151. [in Russian].
4. Vorob'yev G. A., Novozhilov B. A., Varetsa S. A. (1989). Rezhimy rabotyalmaznoi koronki i ikh issledovanie s pomoshchiu skorostnoi kinosiemki [The modes of the diamond crown and their study using high-speed filming] Izv. Vuzov. Geologia i razvedka – *News of universities. Geology and exploration*, 9, 123-128. [in Russian].

5. Bashkatov D. N., Khromin Ye. D., Varetsa S. A. (1992). Nestatsionarnost zaboinykh protsessov v almaznom burenii [Non-stationarity of bottomhole processes in diamond drilling] Sb. nauch. tr. VITR. – *Collection of scientific papers WITR*. 46-53 – Saint-Petersburg [in Russian].
6. Sil M. (1959) Trenie i iznos almaza [Diamond friction and wear] Sb. dokl. London. konf. po smazke i iznosu. – *Collection of reports of the London Conference on Lubrication and Wear*. Moscow: 57–61. [in Russian].
7. Loladze T. N., Bokuchava T. V. (1967). Iznos almazov i almaznykh krugov [*Worn diamond and diamond wheels*]. – M.: Mashinostroenie [in Russian].
8. Tarakanov S. I. (1966) Teoria raboty melkoalmaznoi koltsevoi koronki na zaboe [Theory of the small diamond ring crown on the bottom] *Materialy soveshch. po almaz. bureniiu. – Materials meeting. by diamond drilling* Appatity, 12-18. [in Russian].
9. Kostetskiy B. I., Nosovskiyy I. G., Karaulov A. K. et al. (1976). Poverkhnostnaya prochnost materialov pri trenii [*Surface strength of materials under friction*] Kiev: Tekhnika [in Russian].
10. Tsipin N. V. (1983). Iznosostoikost kompozitsionnykh almazosoderzhashchikh materialov dlia burovogo instrumenta [*Wear resistance of composite diamond-containing materials for drilling tools*]. Kiev: Nauk. dumka [in Russian].
11. Isayev M. M., Ponomarev V.V. (1975) Osnovy progressivnoi tekhnologii almaznogo burenia geologorazvedochnykh skvazhin [*Fundamentals of progressive technology of diamond drilling exploration wells*]. Moscow: Nedra [in Russian].
12. Gorshkov L. K., Gorelikov V. G. (1992). Temperaturnye rezhimy almaznogo burenia. Moscow: Nedra [in Russian].
13. Shilo A. Ye., Kukharenyk S. A., Isonkin A. M. et al. (1991) Termodinamicheskie issledovaniia vozmozhnosti khimicheskogo vzaimodeistvia zeren STM i matritsy instrumenta s gornymi porodami [Thermodynamic studies of the possibility of chemical interaction of STM grains and tool matrix with rocks] *Kompozity iz sverkhтвердых материалов dlya shlifoval'nogo instrumenta. – Composites of superhard materials for grinding tools* (pp. 4–13). Kiev, ISM AN USSR [in Russian].