

- by changing the design of drill bits]. Energetics. Ecology. Human. Section: The prospects for the development of mining and underground building' 16: VIII Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia (25–28 travnia 2016 roku) – 8-rd International Scientific and Technical Conference. (pp. 46–54). Kyiv–KPI [in Ukrainian].
13. Slavinskii, M. P. (1952). *Fiziko-khimicheskie svoistva elementov [Physical and chemical properties of elements]*. Moskva: Hosudarstvennoie nauchno- tekhnicheskoe izdatelstvo literatury po chernoi i tsvetnoi metallurhii [in Russian].
  14. Khimicheskaya entsiklopediia v 5 tomach. Medi–Polimernye. pod obshchei redaktsiiei Knunians I.L. i dr. (1992) [*Chemical encyclopedia in 5 volumes, Copper–Polymer*]. Moskva: Nauchnoie izdatelstvo «Bolshaia rossiiskaia entsiklopediia» [in Russian].
  15. Turkevych, V. Z., Zakora A. P., Melniichuk, Yu. O., Suprun, M. V., Stasiuk, L. P., Stratiichuk, D. A., et al. (2018). Metod otsinky pratsezdatsnosti ATP dlia burovoho heolohorozviduvalnogo instrumentu // Porodorazrushaiushchii i metalloobratyvaiushchii instrument–tekhnika i tekhnolohiia eho izhotovleniia i primeneniia: [*Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Manufacture and applications*], Vol. 21, 26–32 [in Ukrainian].
  16. Petasyuk, G. A. (2014) System and criterial method of the identification and quantitative estimation of the geometrical shape of the abrasive powder grains projection // Powder Technology, V. 264. 78–85.
  17. Maistrenko, A. L. Zakora, A. P., Shmehera, R. S., Suprun, M. V., Vynohradova, O. P., Petasyuk, H.A. «et al.» (2017) Intensyvniat znoshuvannia porodoruivnykh elementiv iz KAM v zalezhnosti vid khimichnogo skladu ta sposobu nanesennia pokryttiv na almazni zerna [The intensity of wear of rock-cutting elements with diamond composite material depending on the chemical composition and method of applying coatings on diamond grains]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobratyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnolohiia eho izhotovleniia i primeneniia – [Rock Destruction and Metal-Working Tools –Techniques and Technology of the Tool Manufacture and applications]*, Vol.20, 469–481 [in Ukrainian].

УДК 622.24.051.64

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-102-109

**А. А. Каракозов<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, **А. П. Закора<sup>2</sup>**, канд. техн. наук, **С. Н. Парфенюк<sup>1</sup>**,  
**А. Ю. Остапюк<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Донецкий национальный технический университет, ул. Артема, 131А, 83000, г. Донецк, e-mail: [karakozov@ukr.net](mailto:karakozov@ukr.net)

<sup>2</sup> Институт сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, ул. Автозаводская, 2, 04074, г. Киев, e-mail: [apz146@ism.kiev.ua](mailto:apz146@ism.kiev.ua)

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ОДНОСЛОЙНЫХ АЛМАЗНЫХ КОРОНОК С НЕЧЁТНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ РАДИАЛЬНЫХ РЯДОВ В УКОРОЧЕННОМ СЕКТОРЕ

Рассмотрены вопросы создания новых конструкций однослойных алмазных коронок, отличающихся нечётным количеством радиальных рядов алмазов в секторах и обеспечивающих снижение удельных нагрузок на единичные алмазные резы.

Предлагается использование смежных секторов алмазосодержащей матрицы буровой коронки с различной раскладкой алмазов и разным количеством радиальных рядов. Приведены результаты

компьютерного моделирования подобной алмазной коронки. Показано, что неравномерность нагружения отдельных алмазов сектора однослойной коронки снижается с уменьшением количества радиальных рядов. Наиболее оптимальным с этой точки зрения для коронок с нечётным количеством радиальных рядов в секторе является использование трёх радиальных рядов. Показана перспективность их использования при бурении геологоразведочных скважин.

**Ключевые слова:** бурение геологоразведочных скважин, однослойные алмазные коронки, моделирование алмазных коронок.

Вновь создаваемые конструкции алмазного породоразрушающего инструмента должны обеспечивать рост технико-экономических показателей геологоразведочного бурения. Промышленный синтез крупных алмазных монокристаллов с повышенной термостойкостью в ИСМ им. В.Н. Бакуля обеспечил сырьевую базу для создания новых эффективных конструкций однослойных коронок для бурения геологоразведочных скважин в породах VI–VIII (с прослойками V и IX) категорий, характерных, в том числе, для условий Донбасса и ряда аналогичных каменноугольных бассейнов. Они могут успешно конкурировать с твердосплавным инструментом в этих условиях.

Ранее были выявлены существенные преимущества конструктивных схем однослойных алмазных коронок с укороченными секторами, в которых размещается не более четырёх-пяти радиальных рядов алмазов [1, 2, 3, 4]. Это позволяет добиться резкого уменьшения разброса механических нагрузок, действующих на отдельные алмазы, улучшить условия очистки забоя от шлама и снизить температуру алмазных резцов. В совокупности эти преимущества позволяют осуществлять бурение на форсированных режимах, повышая механическую скорость бурения.

Учитывая особенности разрушения горной породы, акцент при этом делался на использование конструкций коронок с чётным количеством радиальных рядов алмазов в одинаковых секторах, что несколько ограничивало возможности создания нового бурового инструмента.

Это объяснялось тем, что коронки с чётным и нечётным количеством радиальных рядов имеют различные типы раскладок (рис. 1).

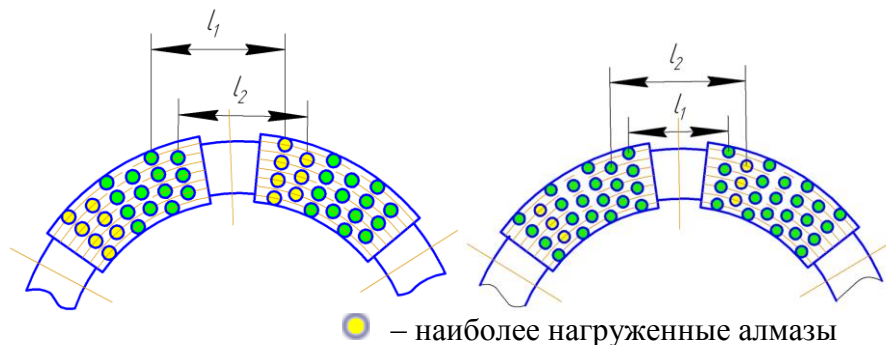


Рис. 1. Иллюстрация раскладок I и II типа:  $l_1$ ,  $l_2$  – расстояния между наиболее близкими подобными радиальными рядами в смежных секторах коронки

Коронки с нечётным количеством радиальных рядов в секторе имеют раскладку II типа (алмазы первого и последнего радиальных рядов сектора находятся на одних линиях резания). В них два первых радиальных ряда нагружены неодинаково, максимальная нагрузка приходится на алмазы второго радиального ряда и превышает нагрузку на алмазы третьего и последующих рядов более чем в 3 раза. По сравнению с раскладкой I типа (алмазы первого и последнего радиальных рядов сектора находятся на разных линиях

резания) этот показатель больше примерно на 15-25 % и существенно зависит от соотношений размеров  $l_1$  и  $l_2$ .

В связи с этим проведен ряд исследований, целью которых был поиск путей снижения нагрузок на алмазы в коронках с нечётным количеством радиальных рядов в секторе и разработка на этой основе новых конструкций породоразрушающего инструмента.

Проведенный для различных схем раскладок анализ взаимодействия алмазов с забоем, показал, что уменьшение разброса нагрузок, действующих на отдельные алмазы в секторе, достаточно легко достигается и для алмазных коронок с нечётным количеством радиальных рядов в секторе. Наиболее просто это достигается при использовании различных схем расположения алмазов в смежных секторах.

С учётом этого положения были проведены исследования коронок с тремя и пятью радиальными рядами в секторе, а также коронок, в которых чередуются сектора с тремя и пятью рядами алмазов. В этих коронках радиальные ряды в смежных секторах располагались таким образом, чтобы алмазы последнего ряда сектора и первого ряда следующего сектора располагались также, как и в коронках I типа. Подобный тип раскладки был предварительно назван условным I типом.

Для обоснования перспективности использования коронок с этими схемами раскладок было проведено компьютерное моделирование тепловых и гидравлических процессов в системе «коронка – забойная часть скважины», при котором исследовался тепловой режим коронки с учётом особенностей механического нагружения отдельных алмазов и их охлаждения промывочной жидкостью. При моделировании использовался метод конечных элементов, хорошо зарекомендовавший себя в ранее проведённых исследованиях.

Исходными данными для моделирования являлись конструктивные параметры коронки, параметры промывочной жидкости, режимные параметры бурения и забойная мощность, реализуемая каждым алмазом в коронке.

В процессе исследований определялись:

1. Механические нагрузки, действующие на каждый алмаз, с учётом толщины срезаемого им слоя горной породы;
2. Механические напряжения в алмазах, матрице и корпусе коронки с учётом действующей осевой нагрузки и крутящего момента;
3. Поле скоростей жидкости в коронке и на забое с учётом вращения бурового снаряда;
4. Температура на контакте алмазов с породой и температурное поле в теле коронки с учётом циркуляции промывочной жидкости.

В табл. 1 показано отношение максимальной и минимальной толщины слоя породы, срезаемой алмазами каждого из трёх радиальных рядов секторов коронки.

Таблица 1. **Отношение толщин слоёв породы, срезаемых алмазами в коронке с тремя радиальными рядами**

№ п/п	Раскладка алмазов в секторе, её тип	Относительная толщина слоя породы, срезаемая алмазами радиального ряда			$h_{max}/h_{min}$
		$h_1/h_a$	$h_2/h_a$	$h_3/h_a$	
1	4/5/4 – 2 тип	0,85	1,42	0,53	2,68
2	5/4/5 – 2 тип	0,95	1,52	0,57	2,67
3	5/4/5 – 4/5/4 Условный 1 тип	1,2	1,2	0,53	2,26
4	3/2/3 – 2/3/2 Условный 1 тип	1,125	1,125	0,75	1,5

Примечание к табл. 1.  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  – толщина слоя породы, срезаемая алмазами, соответственно, первого, второго и третьего радиальных рядов;  $h_a$  – глубина внедрения единичного алмаза при статическом нагружении;  $h_{max}$ ,  $h_{min}$  – максимальная и минимальная толщина срезаемого слоя породы.

При этом сравнивались параметры коронок второго типа с коронками условного первого типа (в которых алмазы последнего и первого радиальных рядов смежных секторов находятся на разных линиях резания). По данным табл. 1 видно, что разница между максимальным и минимальным значениями внедрения резца для новых раскладок коронок уменьшилась как минимум на 18 % (максимальное снижение достигает 78 %).

На рис. 2 и 3 показаны примеры результатов моделирования по определению механических напряжений в исследуемых коронках при действии осевой нагрузки и крутящего момента.

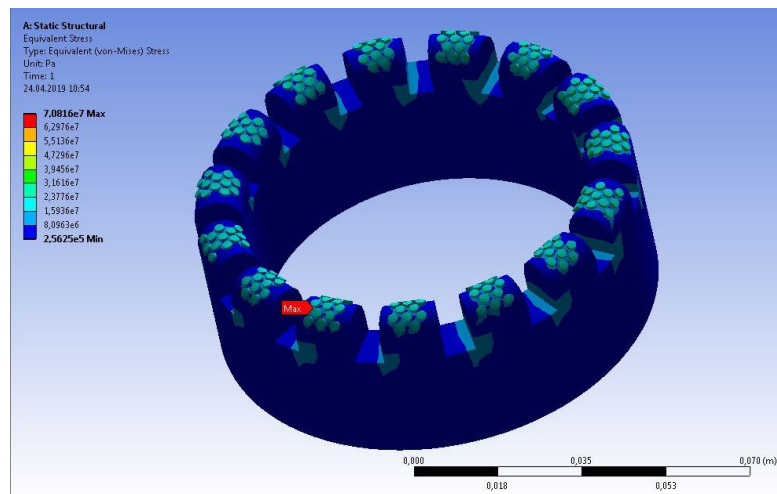


Рис. 2. Распределение напряжений в коронке при действии осевой нагрузки и крутящего момента

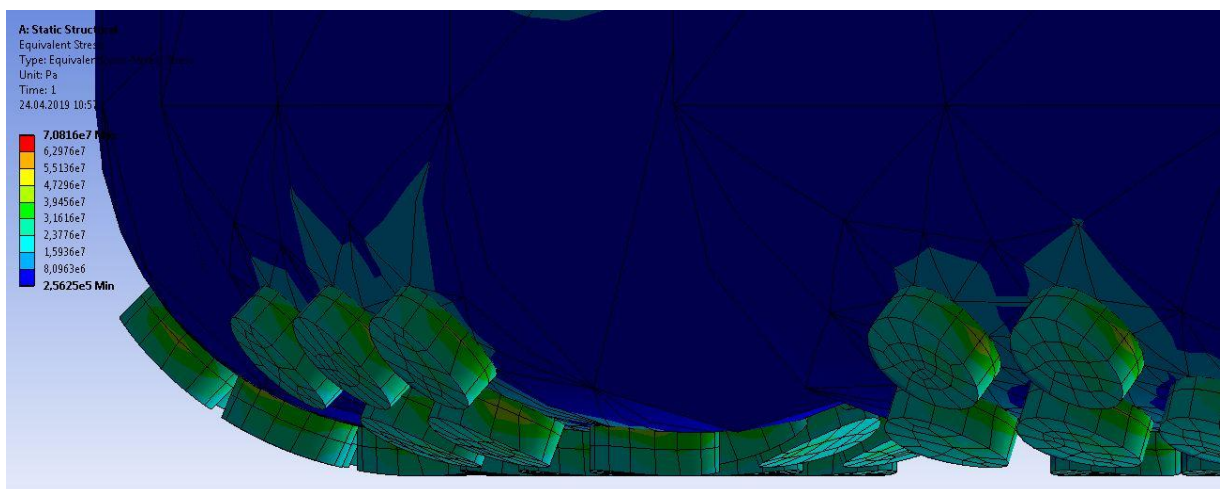
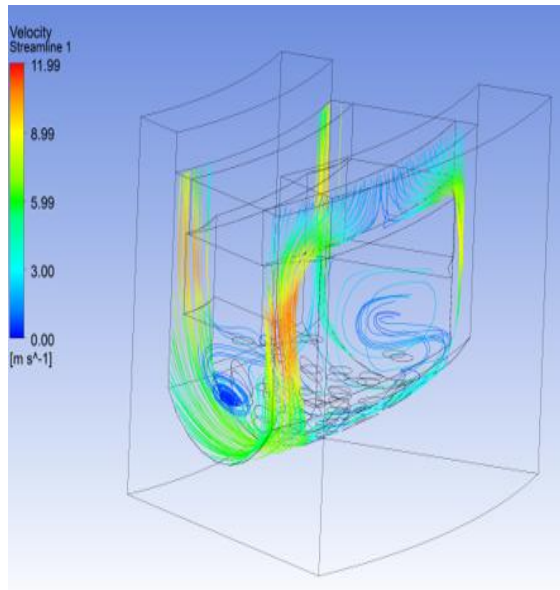
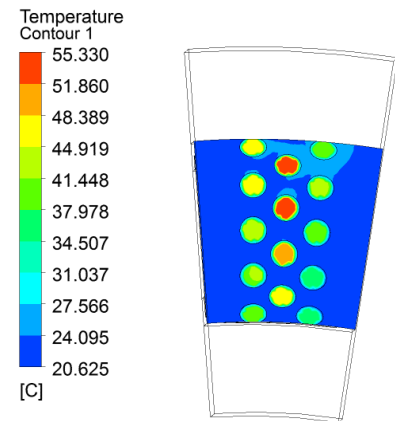


Рис.3. Распределение напряжений в коронке при действии осевой нагрузки и крутящего момента (увеличенный фрагмент)

На рис. 4 приведены примеры результатов моделирования течения жидкости в секторе с пятью радиальными рядами и распределения температуры в алмазах сектора коронки с тремя радиальными рядами.



а



б

Рис. 4. Примеры результатов моделирования: а – течение жидкости в секторе с пятью радиальными рядами; б – распределение температуры в алмазах коронки с тремя радиальными рядами в секторе

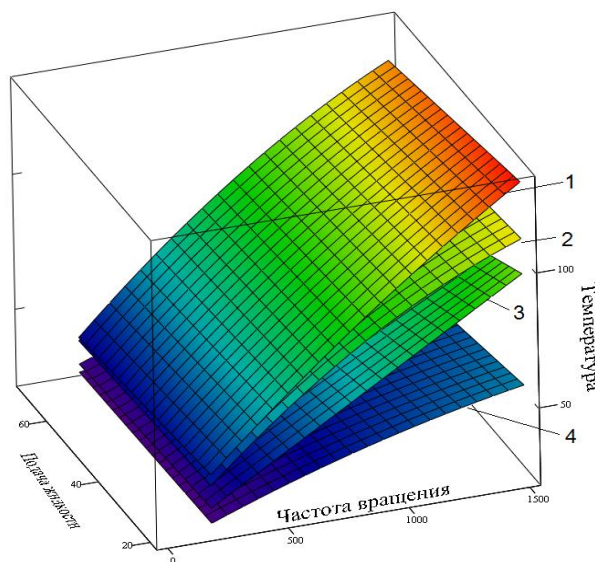


Рис. 5. График зависимости температуры на контакте алмаза с породой от частоты вращения и подачи промывочной жидкости для коронки диаметром 93 мм с числом радиальных рядов в секторе: 1 – четыре; 2 – семь; 3 – три; 4 – два

Полученные результаты свидетельствуют о довольно значительных запасах прочности конструктивных элементов исследуемых коронок при обычных режимах бурения. Температура алмазов при этом находится не только в допустимых пределах, но и значительно ниже (на 500-600 °С) максимально допустимых значений. При этом коронки с тремя радиальными рядами уступают только двухрядным с точки зрения температурного режима алмазных резцов, превосходя ранее созданные коронки БСО-1 с четырьмя рядами алмазов в секторе (рис. 5, [4]). Поэтому трёхрядные коронки можно использовать как альтернативу двухрядным в тех

случаях, когда последнюю конструктивную схему нецелесообразно реализовывать из-за трудностей размещения на боковой поверхности сектора калибрующих и кернообразующих элементов из твесала.

Коронки с пятью радиальными рядами в секторе также могут быть альтернативой коронкам БСО-1, хотя они имеют несколько худшие показатели по сравнению с трёхрядными с точки зрения использования форсированных режимов бурения. Лучшие показатели по результатам моделирования по сравнению с пятирядными коронками имеют конструкции, в которых перемежаются сектора с тремя и пятью радиальными рядами.

#### **Выводы.**

1. Ограничение количества радиальных рядов в секторе однослойной алмазной коронки обуславливает повышение её эффективности как с точки зрения обеспечения равномерного нагружения и износа алмазных резцов, так и обеспечения более щадящего температурного режима наиболее нагруженных алмазов. При использовании секторов с нечётным количеством радиальных рядов алмазов для достижения этого эффекта следует использовать разные раскладки алмазов в смежных секторах.

2. Неравномерность нагружения отдельных алмазов сектора однослойной коронки снижается с уменьшением количества радиальных рядов. Наиболее оптимальным с этой точки зрения для коронок с нечётным количеством радиальных рядов в секторе является использование трёх радиальных рядов. Эти коронки имеют значительный ресурс для форсирования режимов бурения, что позволит повысить механическую скорость проходки скважины.

3. На основании выполненных исследований разработаны конструкции коронок с трёхрядными и комбинированными секторами, в которых в качестве резцов применены синтетические алмазы различных групп прочности и термостойкости, а в качестве калибрующих и кернообразующих элементов – цилиндрические элементы из твесала.

#### **Литература**

1. Каракозов, А. А. Определение максимальной углубки алмазных резцов однослойных коронок с радиальной раскладкой / А. А. Каракозов, М. С. Попова, С. Н. Парфенюк, Р. К. Богданов, А. П. Загора // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения / Сб. науч. тр. – Вып.15. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля, НАН Украины, 2012. – С. 203–206.
2. Каракозов А.А. Моделирование работы алмазных резцов однослойных коронок на забое и оценка влияния схемы раскладки алмазов на механическую скорость бурения / А. А. Каракозов, М. С. Попова, С. Н. Парфенюк, Р. К. Богданов, А. П. Загора // Наукові праці ДонНТУ, серія «Гірничо-геологічна». Випуск 16 (206). – Донецьк, ДонНТУ, 2012. – С. 162–166.
3. Каракозов, А. А. Разработка однослойных алмазных коронок с укороченными секторами [Текст] / А.А. Каракозов, М. С. Попова, Р.К. Богданов, А.П. Загора // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент и технология его изготовления. Сб. научн. Трудов. – Киев: ИСМ им. Бакуля, 2016. – Вып.19. – С. 10–16.
4. Каракозов, А. А. К обоснованию использования многосекторных схем однослойных алмазных коронок с укороченными секторами / А.А. Каракозов, М. С. Попова, А.П. Загора // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент и технология его изготовления. Сб. научн. Трудов – Вып. 21. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2018. – С. 45-54.

*Поступила 25.06.19*

## References

1. Karakozov, A. A., Popova, M. S., Parfenyuk, C. N. et al. (2012). Opredelenie maksimalnoy uglubki almaznyh reztsov odnosloynnyh koronok s radialnoy raskladkoy [Determination of the maximum deepening of diamond cutters of single-layered crowns with a radial layout]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, (15), 203–206 [in Russian].
2. Karakozov, A. A., Popova, M. S., Parfenyuk, C. N. et al. (2012). Modelirovanie raboty almaznyh reztsov odnosloynnyh koronok na zaboe i otsenka vliyaniya shemy raskladki almazov na mehanicheskuyu skorost bureniya [Modeling the work of diamond cutters of single-layer crowns on the face and evaluating the effect of the diamond-cutting scheme on the mechanical drilling speed]. *Naukovi pratsi DonNTU, seriya Girnycho-geologichna – Scientific works of DonNTU, series Mining and Geological*, 16 (206), 162–166 [in Russian].
3. Karakozov, A. A., Popova, M. S., Bogdanov, R. K., Zakora, A. P. (2016). Razrabotka odnosloynnyh almaznyh koronok s ukorochennymi sektorami [Development of single-layer diamond crowns with truncated sectors]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, (19), 10–16 [in Russian].
4. Karakozov, A. A., Popova, M. S., Zakora, A. P. (2018). K obosnovaniyu ispol'zovaniya mnogosekturnykh skhem odnosloynnykh almaznykh koronok s ukorochennymi sektorami [To the justification for use of multi-sector schemes of single-layered diamond crowns with shorted sectors]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, (21), 45–54 [in Russian].

Розглянуто питання створення нових конструкцій одношарових алмазних коронок, що відрізняються непарною кількістю радіальних рядів алмазів в секторах і забезпечують зниження питомих навантажень на одиничні алмазні різиці.

Пропонується використання суміжних секторів алмазовмісної матриці бурової коронки з різною розкладкою алмазів і різною кількістю радіальних рядів. Наведено результати комп'ютерного моделювання подібної алмазної коронки. Показано, що нерівномірність навантаження окремих алмазів сектора одношарової коронки знижується зі зменшенням кількості радіальних рядів. Найбільш оптимальним з цієї точки зору для коронок з непарною кількістю радіальних рядів в секторі є використання трьох радіальних рядів. Показана перспективність їх використання при бурінні геологорозвідувальних свердловин.

**Ключові слова:** буріння геологорозвідувальних свердловин, одношарові алмазні коронки, моделювання алмазних коронок.

**A. A. Karakozov<sup>1</sup>, A. P. Zakora<sup>2</sup>, S. N. Parfenyuk<sup>1</sup>, A. Yu. Ostapyuk<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Donetsk National Technical University

<sup>2</sup>V.N. Bakul Institute for Superhard Materials of National Academy of Sciences of Ukraine

## JUSTIFICATION OF CONSTRUCTIONS OF SINGLE-LAYER DIAMOND CROWNS WITH OBSONGNUM NUMBER OF RADIAL SERIES IN THE REDUCED SECTOR

The issues of creating new designs of single-layer diamond crowns, differing in an odd number of radial rows of diamonds in the sectors and ensuring a reduction in unit loads on single diamond cutters are considered.

*It is proposed to use the adjacent sectors of the diamond-bearing matrix of the drill bit with different diamond layouts and different numbers of radial rows. The results of computer simulation of a similar diamond crown are given. It is shown that the uneven loading of individual diamonds in the single-layer crown sector decreases with a decrease in the number of radial rows. The best from this point of view for crowns with an odd number of radial rows in the sector is the use of three radial rows. The prospects of their use in drilling exploration wells are shown.*

**Keywords:** *drilling of exploration wells, single-layer diamond crowns, modeling of diamond crowns.*

УДК 622.24.051.64

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-109-115

**М. С. Попова**, старший преподаватель

*Сибирский федеральный университет, пр. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 95,  
660095, г. Красноярск, Россия, e-mail: alleniram83@mail.ru*

### **АРМИРОВАНИЕ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА КРУПНЫМ СИНТЕТИЧЕСКИМ МОНОКРИСТАЛЛОМ**

*Современные условия проведения буровых работ нуждаются в качественном надежном породоразрушающем инструменте. Значительное внимание следует уделять научно-обоснованным методикам отработки современного бурового инструмента, с тем чтобы высокие затраты окупались, не увеличивая существенно себестоимость буровых работ. Цель работы: исследование влияния расположения крупного резца (синтетического монокристалла) в породоразрушающей части инструмента на эффективность разрушения породы. Объекты исследований: процессы, протекающие на забое при бурении скважин однослойным алмазным инструментом. Методы исследований: аналитические исследования, анализ. Результаты исследований: определены основные процессы бурения, которые необходимо учитывать при проектировании и разработке нового поколения породоразрушающего инструмента, определены критерии расстановки крупного алмаза в породоразрушающей части бурового инструмента.*

**Ключевые слова:** *бурение, породоразрушающий инструмент, раскладка алмазов, буровая коронка, ядро смятия, линия резания, синтетический монокристалл.*

Современное бурение характеризуется применением дорогостоящих породоразрушающих буровых инструментов, призванных обеспечить как высокие темпы проходки, так и ресурс.

Новые технологии, возможности в области материаловедения и инструментостроения, а также многолетний опыт применения, сделали одним из перспективных буровых инструментов – алмазный породоразрушающий инструмент (ПРИ). Как показали исследования [1, 2, 3], разработка бурового породоразрушающего инструмента, армированного алмазным материалом, требует одновременного изучения многих факторов, влияющих на эффективность его работы на забое.

Таковыми факторами являются:

1. Механизм разрушения, который сам по себе является сложной системой. При этом необходимо учитывать: свойства разрушаемой породы; форму и размер алмазного резца; конструкцию ПРИ; схему расположения алмазных резцов на рабочей поверхности породоразрушающего инструмента; траекторию движения каждого резца инструмента в процессе бурения скважины.

2. Гидравлический режим работы инструмента, а именно: свойства и состав очистного агента; способ подачи промывочной жидкости на забой; конструкцию промывочной системы инструмента; режимы бурения.