

12. Вдовиченко А. І. Передові технології інтенсифікації нафтогазовидобутку в Україні // Економічний розвиток: теорія, методологія, управління: матер. III Міжнар. наук.-практ. конф. – Будапешт – Прага – Київ, 2015. – С. 74–79.
13. Воловецький В. Б., Щирба О. М., Витязь О. Ю. Розроблення комплексних заходів, спрямованих на підвищення ефективності видобування вуглеводнів при розробці родовищ на виснаження // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2014. – № 3(52). – С. 154–165.
14. Відновлення свердловин – перспективний напрям збільшення обсягів видобутку вуглеводнів у Західному нафтопромисловому районі України / Є. М. Ставичний, С. А. П'ятківський, М. М. Плитус та ін. // Нафтогазова галузь України. – 2014. – № 6. – С. 3–6.
15. Коцкулич Я. С., Лівінський А. М. Відновлення свердловин шляхом забурювання бокових стовбурів – перспективний напрям збільшення обсягів видобутку вуглеводнів // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов. –К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2015. – Вып. 18. – С. 46–52.
16. Богоявленский В. И. Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала и Таймыра // Бурение и нефть. – 2014. – № 9. – С. 13–18.
17. Богоявленский В. И. Выбросы газа и нефти на суше и акваториях Арктики и Мирового океана // Бурение и нефть. – 2015. – № 6. – С. 4–10.
18. Выбросы газа из криолитозоны полуострова Ямал. Предварительные результаты экспедиции 8 июля 2015 г. / В. И. Богоявленский, А. В. Мажаров, А. В. Мажаров, И. В. Богоявленский // Бурение и нефть. – 2015. – № 7–8. – С. 8–13.
19. Дригулич П. Г., Пукіш А. В. Проблеми урбанізації територій під час розробки нафтових родовищ (на прикладі міста Борислава) // Нафтогазова галузь України. – 2013. – № 2. – С. 44–49.
20. Яремийчук Р. С. Нефтяная реанимация // Нефтяное обозрение «Терминал». – 2015. – № 21(763). – С. 10–11.

Надійшла 21.06.16

УДК 622.24.051.64

А. А. Каракозов¹, канд. техн. наук, **М. С. Попова¹**,
Р. К. Богданов², **А. П. Закора²**, кандидаты технических наук

¹Донецкий национальный технический университет, Украина

²Институт сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

РАЗРАБОТКА ОДНОСЛОЙНЫХ АЛМАЗНЫХ КОРОНОК С УКОРОЧЕННЫМИ СЕКТОРАМИ

Рассмотрены вопросы разработки однослойных алмазных коронок с укороченным сектором, вмещающим не более четырёх радиальных рядов. Приведены результаты компьютерного моделирования взаимодействия однослойной алмазной коронки с двумя и тремя радиальными рядами алмазов в секторе с забоем скважины. Показана перспективность использования таких коронок при бурении геологоразведочных скважин.

Ключевые слова: однослойная алмазная коронка, моделирование, нагружение алмазов, температурный режим алмазов.

Современные достижения в области синтеза крупных синтетических алмазных монокристаллов открыли новые перспективы разработки однослойных алмазных коронок. Поэтому разработка подобных коронок с радиальной раскладкой алмазов вновь приобрела актуальность, причём они рассматриваются в качестве весьма перспективного вида породоразрушающего инструмента при бурении геологоразведочных скважин в породах V–VIII категории по буримости. Однако создание новых коронок требует решения или уточнения результатов ряда задач, связанных с их функционированием на забое скважины: определение нагрузок, действующих на отдельный алмаз, определение параметров потока промывочной жидкости, циркулирующей в призабойной зоне, и определение температурного режима отдельных алмазов и всей коронки в целом. При этом решение второй задачи определяет как характер очистки забоя от шлама, так и тепловые процессы на забое.

Предварительные исследования показывают, что при проектировании однослойных алмазных коронок для бурения в породах V–VIII категории особое внимание следует уделять коронкам с укороченными секторами, количество радиальных рядов алмазов в которых не превышает четырёх. Подобная коронка БСО-1 с четырьмя радиальными рядами была создана ранее и прошла производственные испытания [1]. Использование таких коронок позволяет более эффективно использовать потенциал алмазных резцов, а также значительно улучшить их охлаждение и очистку забоя от шлама. Следует отметить, что импрегнированные алмазные коронки с короткими секторами уже давно нашли применение в практике бурения геологоразведочных скважин.

При решении задачи по минимизации нагрузок на алмазные резцы необходимо учесть влияние конструктивных факторов на распределение осевого усилия между алмазами и на эффективность работы коронки в целом. Каждый из алмазов в секторе работает на забое под действием нормальной составляющей осевого усилия и тангенциальной составляющей осевого усилия, обусловленного крутящим моментом, приложенным к коронке. При этом механическое нагружение алмаза зависит от характера его взаимодействия с породой, зависящего от расположения в секторе, а температурный режим – еще и от распределения потоков промывочной жидкости на забое. Поэтому механическое нагружение и температурный режим отдельного алмаза в пределах сектора неодинаковы. Наиболее нагруженными являются алмазы первых двух радиальных рядов сектора буровой коронки [2]. Это связано с тем, что расстояние в одной линии резания между первыми алмазами рассматриваемого сектора и последними алмазами предыдущего сектора (l_k) больше расстояния между алмазами внутри рассматриваемого сектора (l_a). Кроме того, нагружение алмазов зависит и от схем радиальной раскладки, в которых выделены два типа характера расположения алмазов первого и последнего радиальных рядов сектора: I тип – на разных линиях резания; II тип – на одних линиях резания.

Согласно методике Н. В. Цыпина [3], для исключения зашламования контактной поверхности коронки и забоя, длина рабочего элемента коронки не должна превышать 15–20 диаметров алмаза (d_a). Этот показатель влияет на количество секторов коронки:

$$n_c = \frac{\pi D_H}{20 d_a}, \quad (1)$$

где: D_H – наружный диаметр коронки; коэффициент $k=20$, учитывает, что длина сектора (l_c) не более 15 диаметров алмаза, а длина канавки (l_n) не менее 5 диаметров алмаза. Коэффициент k можно записать как:

$$k = \frac{l_c + l_n}{d_a} \quad (2)$$

При этом минимальное значение коэффициента k в методике не устанавливается.

Угол, ограничивающий сектор определяется по формуле [3]:

$$\alpha_c = \frac{360 \cdot 0,75}{n_c}. \quad (3)$$

Но фактически коэффициент 0,75 в формуле (3) в общем случае может быть переменным и определяться соотношением:

$$k_l = l_c / (l_c + l_n), \quad (4)$$

где: l_c и l_n – соответственно, длина сектора и промывочного окна коронки.

Угол между радиальными рядами определяется по формуле:

$$\alpha_p = \frac{\alpha_c}{(\rho + 1)}, \quad (5)$$

где: ρ – количество радиальных рядов алмазов в секторе.

Угол α_p между радиальными рядами определяет расстояние l_a между алмазами по линии резания (рис. 1), которое напрямую зависит от величины коэффициента k_l .

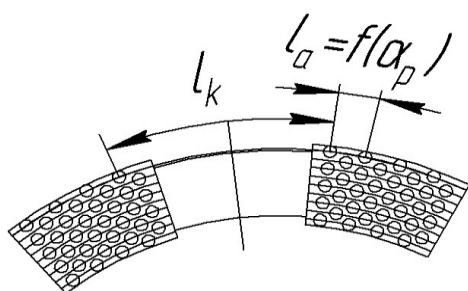


Рис. 1. Схема расположения алмазов в секторе

Результаты расчета конструктивных параметров коронки диаметром 93 мм при различных значениях коэффициента k_l показаны в табл. 1.

Отношение l_k/l_a имеет важное значение, поскольку для коронки I типа раскладки оно фактически определяет превышение нагрузки на алмазы первых двух радиальных рядов над нагрузкой на алмазы третьего и последующих рядов сектора, что определяется отношением толщины слоя породы, срезаемого алмазами первого радиального ряда (h_1) к толщине слоя породы, срезаемого алмазами третьего и последующих

радиальных рядов (h_3).

Таблица 1. Отношение l_k/l_a для различных конструкций коронки диаметром 93 мм с раскладкой I типа в зависимости от значения коэффициента k_l

| Кол-во секторов | Кол-во алмазов в коронке | Кол-во радиальных рядов в секторе | K | k_l | | | | |
|-----------------|--------------------------|-----------------------------------|----|-------|------|------|------|------|
| | | | | 0,5 | 0,58 | 0,6 | 0,67 | 0,75 |
| 36 | 324 | 2 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | 324 | 4 | 11 | 4 | 3,31 | 3,22 | 2,73 | 2,38 |
| 12 | 324 | 6 | 15 | 5 | 3,8 | 3,84 | 3,22 | 2,72 |
| 8 | 288 | 8 | 24 | 6 | 4,18 | 4,5 | 3,72 | 3 |

Следовательно, при одном и том же количестве радиальных рядов в секторе можно добиться различного распределения нагрузки среди алмазов (рис. 2), неизменный результат остается лишь для коронки с 2 радиальными рядами в секторе.

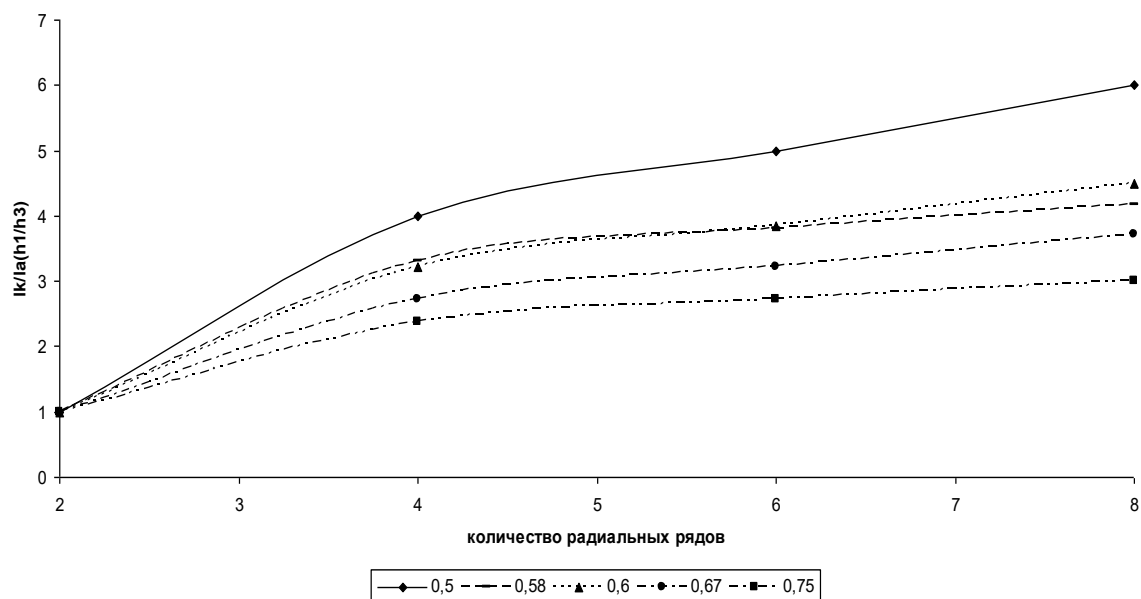


Рис. 2. График зависимости превышения нагрузки на алмазы первых радиальных рядов над нагрузкой на остальные алмазы сектора от количества радиальных рядов и расстояния между алмазами по линии резания при $k_1=0,5-0,75$

Таблица 2. Результаты определения параметров взаимодействия алмазов коронки с породой в процессе бурения

| № п/п | Конструкция сектора | Количество секторов | Количество алмазов в коронке | l_a , мм | h_a , мм | Относительная толщина слоя породы, срезаемая соответствующим радиальным рядом | | | h_{max}/h_{min} | ΔV , мм |
|-------|---------------------|---------------------|------------------------------|------------|------------|---|-----------|-----------|-------------------|-----------------|
| | | | | | | h_1/h_a | h_2/h_a | h_3/h_a | | |
| 1 | | 28 | 364 | 3,84 | 0,0077 | 0,85 | 1,42 | 0,53 | 2,68 | 0,31 |
| 2 | | 28 | 392 | 3,84 | 0,0072 | 0,95 | 1,52 | 0,57 | 2,68 | 0,31 |
| 3 | | 28 | 374 | 3,84 | 0,0075 | 1,2 | 1,2 | 0,53 | 2,25 | 0,31 |
| 4 | | 36 | 324 | — | 0,0087 | 1 | 1 | — | 1 | 0,31 |
| 5 | | 32 | 368 | — | 0,0076 | 1,12 | 1,12 | — | 1,6 | 0,32 |
| | | | | | | 0,81 | 1,32 | 0,5 | | |

Примечание. h_1, h_2, h_3 – толщина слоя породы, срезаемая соответственно алмазами первого, второго и третьего радиальных рядов сектора коронки; h_a – глубина внедрения алмазов в породу при статическом вдавливании коронки; ΔV – углубка за оборот.

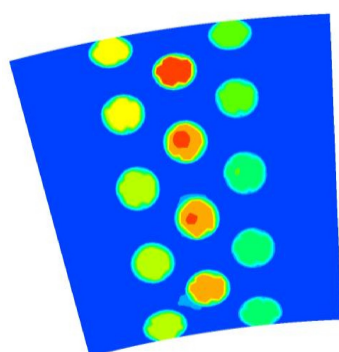
Изменение распределения нагрузки на алмазы наблюдается не только при варьировании их расположения в одном секторе, но и при изменении схемы расположения алмазов в двух смежных секторах. Так комбинация секторов I и II типа раскладки позволяет исключить большое превышение нагрузки на алмазы, срезающие наибольший слой породы. В табл. 2 показано как совмещение секторов двух типов раскладки позволяет снизить перепад нагрузки на алмазы до 70%.

При неизменной углубке за оборот отношение нагрузки максимально нагруженного алмаза к минимально нагруженному снижается по мере уменьшения количества радиальных рядов в секторе. Одинаковая же толщина слоя породы, снимаемого каждым алмазом, наблюдается лишь при использовании коронок I типа с двумя радиальными рядами в секторе. Уменьшение количества радиальных рядов позволяет обеспечить лучшую очистку забоя от шлама и охлаждение сектора коронки, что положительно сказывается на температурном режиме работы коронки (табл. 3, рис. 3).

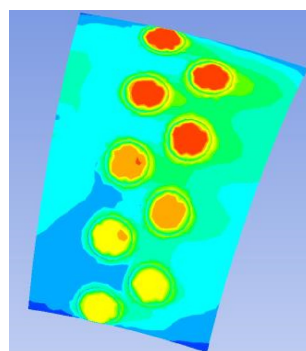
Таблица 3. Максимальная температура (°C) контакта алмаза с породой при бурении различными коронками диаметром 93 мм при осевой нагрузке 20 кН

| Кол. рад. рядов в секторе | Количество секторов | Очистной агент | Подача, л/мин | Частота вращения, об/мин | | | | | | |
|---------------------------|---------------------|----------------|---------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | | | | 200 | 400 | 600 | 700 | 800 | 1000 | 1500 |
| 3 | 28 | Техн. вода | 19 | 31 | 42 | 53 | 58 | 64 | 75 | 100 |
| | | | 40 | 28 | 37 | 45 | 50 | 54 | 62 | 84 |
| | | | 70 | 27 | 34 | 40 | 44 | 48 | 54 | 71 |
| | | Воздух* | | 59 | 92 | 121 | 136 | 149 | 177 | 245 |
| 2 | 38 | Техн. вода | 19 | 26 | 32 | 38 | 40 | 43 | 51 | 58 |
| | | | 40 | 25 | 29 | 34 | 35 | 38 | 42 | 50 |
| | | | 70 | 24 | 28 | 31 | 32 | 34 | 38 | 45 |
| | | Воздух* | | 51 | 70 | 84 | 89 | 94 | 102 | 120 |

*Расход воздуха рассчитан для скорости восходящего потока в кольцевом пространстве скважины 20 м/с. Температура рассчитана через 5 с от начала работы коронки на забое.



а



б

Рис. 3. Пример распределения температуры на контакте алмазов с породой для коронок с тремя (а) и двумя (б) радиальными рядами в секторе (соответственно, сектора №3 и 4 табл. 2).

Уменьшение радиальных рядов даже с трех до двух дает значительное снижение температуры, причем если при частоте вращения 200 об/мин температура снижается всего

на 3–5 °С, то при 1500 об/мин эта разность составляет более 30 °С. При этом возможна работа коронки при 19 л/мин, т.к. температура алмаза не будет критической (рис. 4).

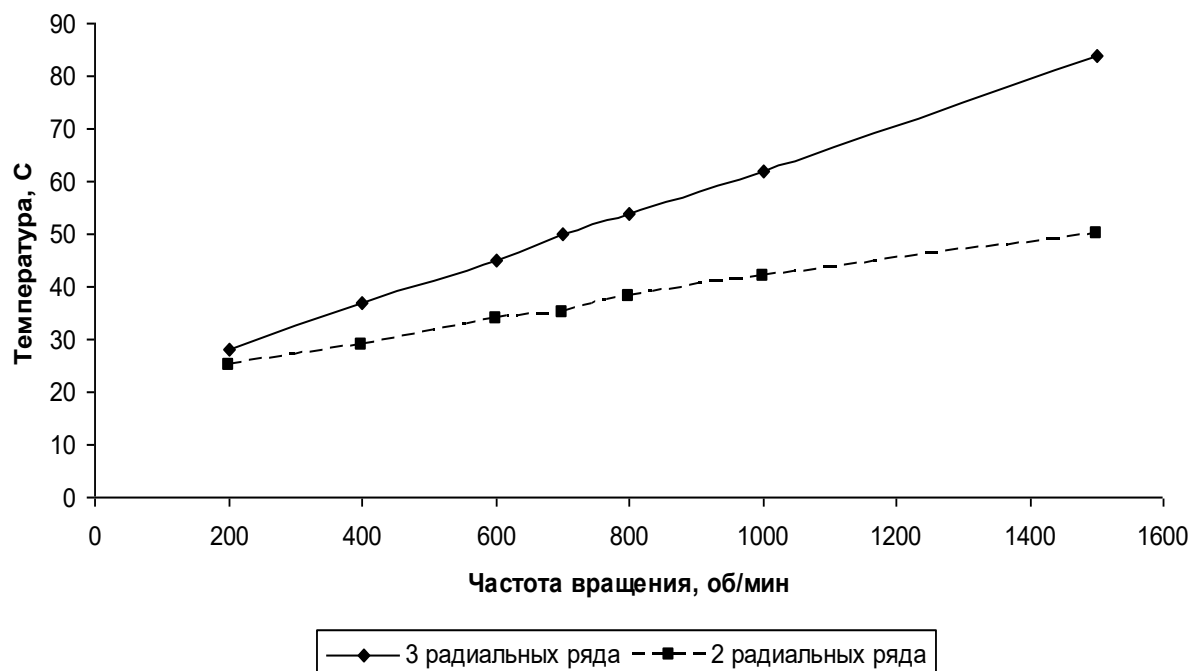


Рис. 4. График роста температуры алмаза от увеличения частоты вращения (подача промывочной жидкости 40 л/мин).

Выводы

Неравномерность нагружения отдельных алмазов сектора однослойной коронки снижается по мере уменьшения количества радиальных рядов. Наиболее оптимальными с этой точки зрения являются коронки с радиальной раскладкой первого типа с двумя радиальными рядами. Уменьшение количества радиальных рядов в секторе также положительно влияет на температурный режим работы коронки – чем меньше радиальных рядов, тем меньше температура нагрева алмазов коронки. При этом улучшается очистка забоя от шлама по сравнению с традиционными коронками.

Полученные результаты позволили предложить новую конструкцию коронки с двумя радиальными рядами алмазов в секторе [8].

Розглянуто питання розробки одношарових алмазних коронок з скороченим сектором, які мають не більш чотирьох радіальних рядів. Наведено результати комп'ютерного моделювання взаємодії одношарової алмазної коронки з двома або трьома радіальними рядами алмазів у секторі з вибоєм свердловини. Наведена перспективність використання таких коронок при бурінні геологорозвідувальних свердловин.

Ключові слова: одношарова алмазна коронка, моделювання, навантаження алмазів, температурний режим алмазів.

DEVELOPMENT OF SINGLE WALLED DIAMOND BITS WITH SHORTER SECTORS

The problems of the development of single-layer diamond core bits with a shortened sector, with no more than four radial rows are reviewed. The results of computer simulation of the interaction of a single layer diamond core bit with two and three rows of diamonds in the radial row in sector with the borehole bottom are presented. The prospects of the use of such bits for drilling of exploration wells are shown.

Key words: single-layered diamond drilling bit, interaction with well bottom, modeling, diamond load, temperature distribution.

Литература

1. Разработка алмазного породоразрушающего инструмента для колонкового бурения скважин на основе синтетических монокристаллов с повышенной термостойкостью / А. А. Каракозов, М. С. Попова, С. Н. Парфенюк и др. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Гірничо-геологічна». – Вып. 1(20). – Донецьк, ДонНТУ, 2014. – С. 132–137.
2. Определение максимальной углубки алмазных резцов однослойных коронок с радиальной раскладкой / А. А. Каракозов, М. С. Попова, С. Н. Парфенюк и др. // 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.
3. Износостойкость композиционных алмазосодержащих материалов для бурового инструмента : монография / Н. В. Цыпин. – К. : Наук. думка, 1983. – 191 с.
4. Production of coarse-grained high-strength microgrits to be used in drilling tools / O.A. Zanevskii, S.A. Ivakhnenko, G.D. P'nitskaya, et al. // Journal of Superhard Materials. – 37. – N 2. – Elsevier B.V., 2015. – P. 85–96.
5. Исследование теплового режима однослойной алмазной коронкой с синтетическими монокристаллами / А. А. Каракозов, М. С. Попова, С. Н. Парфенюк и др. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Гірничо-геологічна». – Вып. 1(22). – Донецьк, ДонНТУ, 2015. – С. 39–44.
6. 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 и др. // Наукові праці ДонНТУ, серія «Гірничо-геологічна». Випуск 16 (206). – Донецьк, ДонНТУ, 2012. – С. 162–166.
7. О процессе взаимодействия алмазов с забоем скважины при работе однослойных коронок / А. А. Каракозов, М. С. Попова, Р. К. Богданов, А. П. Загора // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – Вып. 14. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля, НАН Украины, 2011. – С. 78–85.
8. Пат. на винахід №108942 Україна МПК E21B 10/36. Алмазна одношарова бурова коронка / А. А. Каракозов, М. С. Попова, Р. К. Богданов, А. П. Загора – Опубл. 25.06.15; Бюл. №12.

Поступила 19.05.16

УДК 622.13

Б. В. Федоров, Б. Т. Ратов, доктора технических наук

*Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К. И. Сатпаева, г. Алматы*

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ДОЛОТ ШАРОШЕЧНОГО ТИПА НЕТРАДИЦИОННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Предложена новая конструкция комбинированного долота, шарошки которого формируют только периферийную часть забоя скважины, а его центральная часть разрушается ударными импульсами.

Ключевые слова: шарошечное долото, съёмные шарошки, скважина, острый угол, цапфа, центральная часть забоя, ударные импульсы.