

УДК 622.24.051.64

А. А. Каракозов¹, М. С. Попова¹, С. Н. Парфенюк¹, Р. К. Богданов²,
А. П. Загора²

¹ Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина

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

Моделирование работы алмазных резцов однослойных коронок на забое и оценка влияния схемы раскладки алмазов на механическую скорость бурения

В статье приведена расчетная модель движения коронки на забое. Дана оценка влияния раскладки алмазов на механическую скорость бурения и нагруженность алмазов сектора.

Ключевые слова: алмазная однослойная коронка; раскладка алмазов; механическая скорость бурения.

Для проектирования новых конструкций однослойных алмазных коронок, армированных синтетическими алмазными монокристаллами, необходимо иметь инструмент для сравнительной оценки эффективности использования различных раскладок алмазов как с точки зрения разрушения породы на забое скважины, так и с точки зрения нагружения алмазов при их работе.

Однако существующие модели взаимодействия алмазных коронок с забоем [1–4] не позволяют одновременно оценить влияние раскладки алмазов на ожидаемую механическую скорость бурения и толщину слоя породы перед каждым алмазом в секторе, поскольку не учитывают особенности работы алмазных резцов при движении коронки на забое как единой системы.

Настоящая работа посвящена составлению и реализации расчетной модели, позволяющей определить показатели, характеризующие работу алмазных резцов на забое, необходимые для сравнительной оценки различных конструкций однослойных алмазных коронок. С использованием этой модели можно определить углубку коронки при её движении по забою, а также расчетные силы сопротивления породы, действующие на каждый алмаз, в зависимости от раскладки алмазов и её конструктивных параметров.

Суть модели состоит в следующем. Считаем, что на коронку действует осевая нагрузка P_{oc} . В исходном (статическом) положении эта нагрузка распределяется равномерно на каждый алмаз ($P_a = P_{oc}/n_k$, где n_k – количество алмазов в коронке). Положение каждого алмаза во время работы коронки определяется углом её поворота (φ) и углубкой коронки (z). Каждая линия резания коронки дополнительно характеризуется координатами поверхности забоя ($y(\varphi)$) в каждой своей точке (рис. 1). Тогда толщина слоя породы, срезаемая алмазом в конкретной точке забоя при определенном положении коронки, будет равна (рис. 1б):

$$h_i = z - y_i, \quad (1)$$

где y_i – координата поверхности забоя перед конкретным алмазом.

С другой стороны, исходя из принятого условия неизменности площади внедрения алмазов в забой при постоянной осевой нагрузке, имеем соотношение:

$$\sum_{i=1}^{n_a} h_i = n_k h_a \quad (2)$$

где h_a – углубка алмазов коронки в породе при статическом вдавливании (рис. 1а), которая зависит от усилия на алмаз P_a и одинакова для всех алмазов [1]:

$$h_a = \frac{P_a}{P_{um} \pi R} \quad (3)$$

где P_{um} – твердость породы по штампу; R – радиус алмаза.

Значение h_a может рассчитываться по уточненным формулам с учетом коэффициентов разрушения горной породы (k_p) и формы алмаза (k_a) [1].

При вращении коронки происходит её периодическая углубка на величину Δ . В момент каждого акта разрушения породы будет выполняться следующее соотношение:

$$\sum_{i=1}^{n_a} (z - y_i + \Delta) = n_k h_a \quad (4)$$

где Δ – приращение углубки коронки на каждом акте внедрения в породу.

Из уравнения (4) можно найти значение Δ , соответствующее определенному положению коронки на забое.

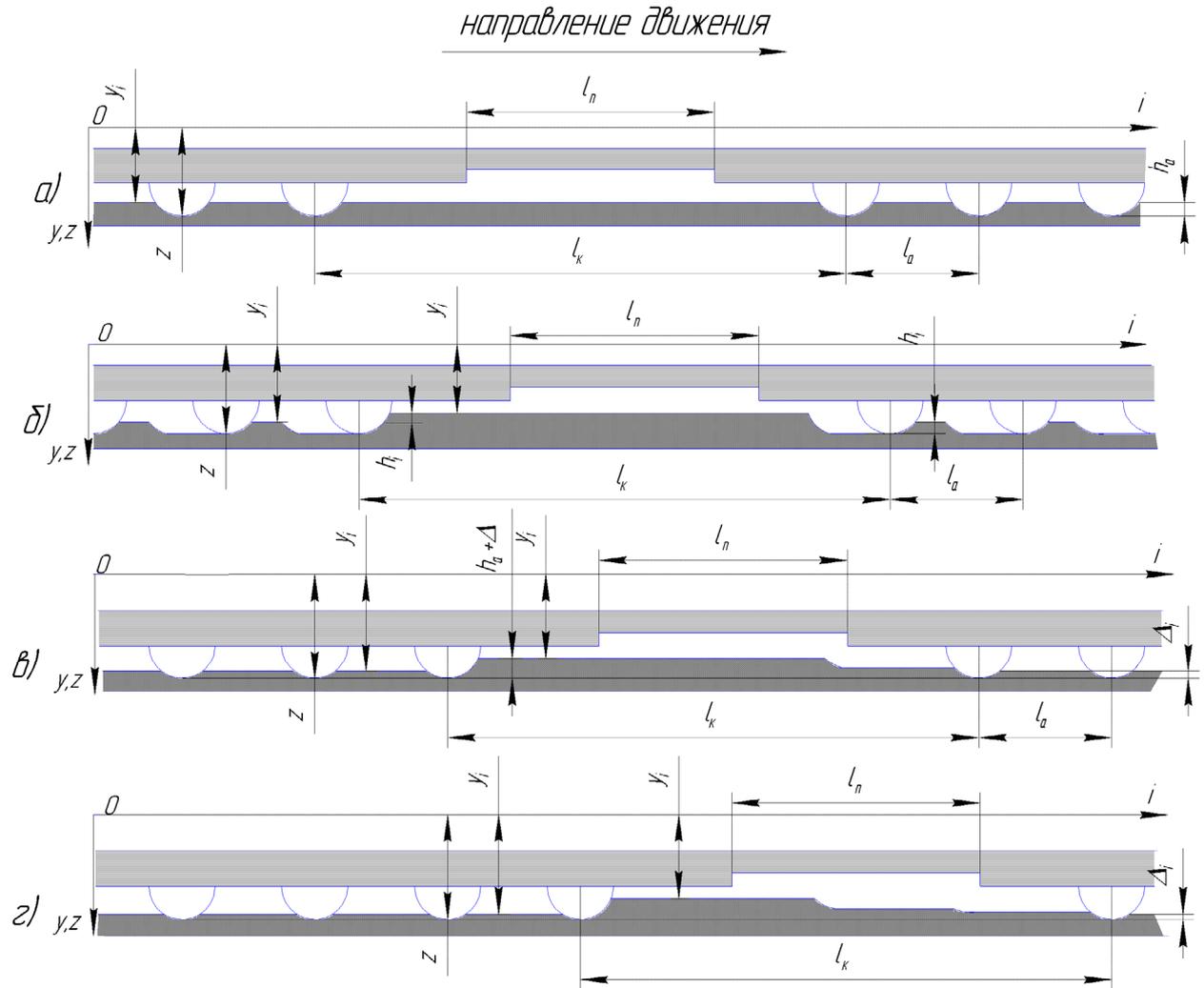


Рис. 1. Схема взаимодействия алмазов коронки одной линии резания с забоем скважины. Углубка алмазов в породу: а) первоначальная; б) при прохождении меньшего расстояния, чем расстояние между алмазами на одной линии резания (l_a); в) после прохождения расстояния l_a ; г) после прохождения расстояния $2l_a$.

$$\Delta = \frac{n_k h_a - \sum_{i=1}^{n_k} (z - y_i)}{n_k} = h_a - \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} (z - y_i). \quad (5)$$

Моделируя движение коронки на забое, для каждого момента времени можно получить значение приращения её углубки Δ , координату нижнего торца коронки z и координаты поверхности забоя $y(\varphi)$ в любой точке. Для определения этих параметров, используя соотношение (5), был разработан алгоритм и составлена программа, позволяющая определять значение толщины слоя породы h_i , срезаемого различными алмазами в конкретной точке забоя при вращении коронки (рис. 2а), и отображать графически (рис. 2б) траекторию движения алмазов по

забою. Это дает возможность оценить механическую скорость бурения в зависимости от конструктивных особенностей коронки.

С использованием этой модели была проведена сравнительная оценка однослойных коронок диаметром 59, 76 и 93 мм с различными раскладками алмазов по радиальным линиям, геометрические параметры которых определялись по методике [5] с учётом ограничения длины сектора (l_c) 15–20 диаметрами алмаза (d_a) для исключения зашламования забоя. Рассматривались коронки, раскладка алмазов в которых определялась с учетом возможности различного соотношения длины сектора и промывочной канавки (l_n), т. е. варьировались величины $l_c/(l_c+l_n)$ и $K=(l_c+l_n)/d_a$. При этом рассматривались коронки, в которых расстояние в одной линии резания (l_k) между первыми алмазами сектора и последними алмазами предыдущего сектора было кратно или не кратно расстоянию между алмазами (l_a).

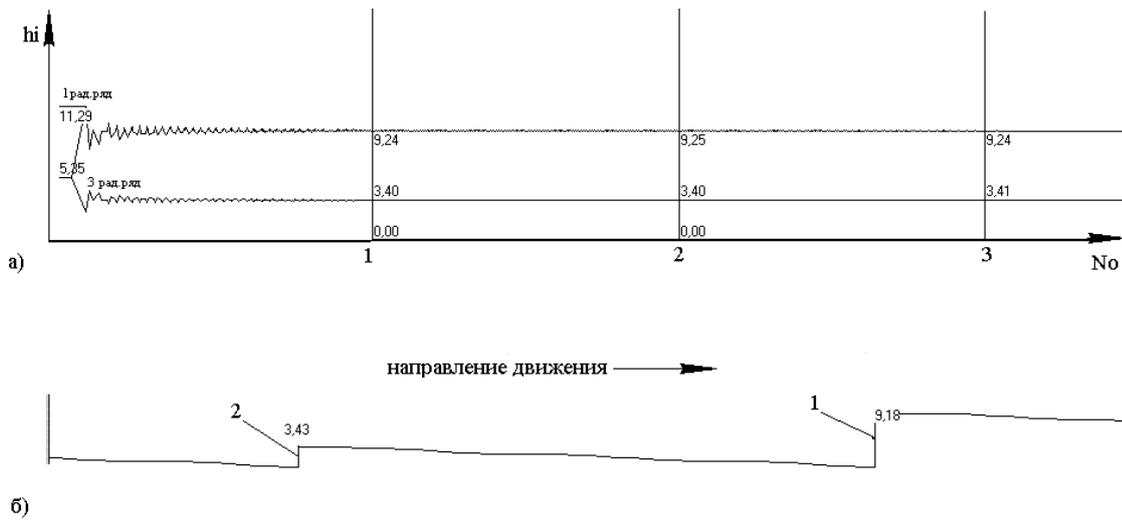


Рис. 2. Пример результатов моделирования движения алмазов одной линии резания по забою скважины: а) график изменения толщины снимаемого слоя породы алмазами от угла поворота коронки; б) траектория установившегося движения алмазов по забою (1 – первый алмаз линии резания сектора; 2 – второй алмаз линии резания сектора; N_o – номер оборота).

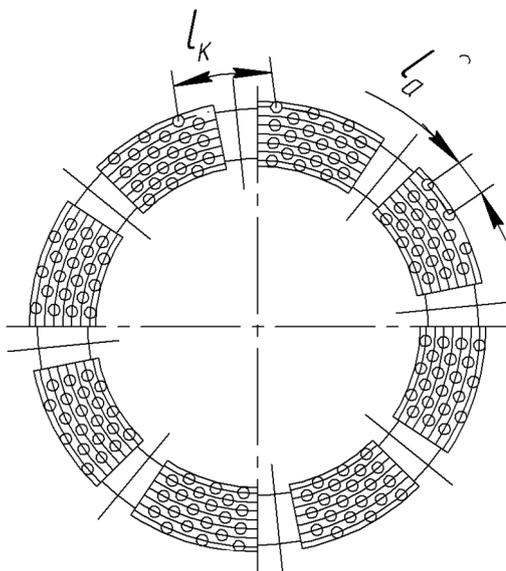


Рис. 3. Схема торца алмазной коронки

Исследуемые схемы раскладки также делятся на два типа по характеру расположения алмазов первого и последнего радиальных рядов сектора: I тип – алмазы находятся на разных линиях резания; II тип – алмазы находятся на одних линиях резания. Например, на рис. 3 показана схема торца коронки диаметром 59 мм с раскладкой I типа и отношением $l_k/l_a=2,7$.

Результаты обработки данных моделирования и полученная на этой основе сравнительная характеристика коронок с различными конструктивными параметрами приведены в табл. 1. При моделировании осевая нагрузка на коронки принималась таким образом, чтобы нагрузка на единичный алмаз была всегда одинаковой (для нашего случая она равна $P_a=47,6Н$).

Анализ данных табл. 1 показывает, что нагрузка на алмазы первого рабочего ряда сектора может превышать нагрузку на последующие ряды сектора в 2–5 раз, что зависит от соотношения l_k/l_a . При этом равномерная нагрузка на все алмазы сектора наблюдается только в случае размещения в нем одного рабочего ряда. Толщина снимаемого слоя породы любым алмазом в таких коронках всегда равна h_a ($h_a=h_{max}=h_1$). Таким образом, эти коронки имеют значительный резерв увеличения осевой нагрузки, что дает возможность существенно повысить механическую скорость бурения.

Табл. 1. Результаты обработки данных, полученных при моделировании

Диаметр коронки, мм	Тип схемы раскладки	$l_c/(l_c+l_n)$	К	Количество секторов коронки	Количество алмазов в линиях резания	l_c/l_a	l_c/l_n	l_n/l_a	h_{max}/h_a		h_1/h_a		h_2/h_a	h_1/h_2		H_o/h_a
									1 рад. ряд	2 рад. ряд	1 рад. ряд	2 рад. ряд	3 и следующие ряды	1 рад. ряд	2 рад. ряд	
59	I	0,75	17	8	3	2,66	3	1,16	2,11		1,71		0,64	2,66		24
		0,5	10	12	2	4	1	1,5	1,87		1,6		0,4	4		24
		0,75	5	24	1	1	0,03	0,25	1		1		-	-		24
		0,63	15	8	2	3	1,64	2,5	1,74		1,49		0,49	3		16
	II	0,75	20	6	4/3	2,33	1,97	1,33	2,22	2,73	1,53	2,18	0,65	2,33	3,33	21
		0,5	13	10	3/2	4	1	3	2,17	2,5	1,66	2,08	0,41	3,99	4,99	25
76	I	0,75	12	14	2	2,33	3	0,83	1,75		1,396		0,59	2,34		28
		0,75	6	26	1	1	2,99	0,25	1		1		-	-		26
		0,63	15,6	10	2	3	1,66	1,5	1,75		1,499		0,499	3,003		20
	II	0,75	20	8	4/3	2,33	3	1,33	2,22	2,73	1,53	2,18	0,65	2,33	3,33	28
		0,6	15	10	3/2	3	1,5	2	1,96	2,37	1,49	2	0,499	3	3,77	25
		0,72	13,7	10	3/2	2	2,5	1	1,6	2,16	1,25	1,87	0,62	2	3	25
93	I	0,75	16	12	3	2,66	3	1,16	2,11		1,71		0,64	2,66		36
		0,5	17	12	3	5	1	3,5	2,6		2,14		0,42	5		36
		0,75	5	38	1	1	3	0,25	1		1		-	-		38
		0,58	24	8	3	4	1,4	2,5	2,6		2		0,49	4		24
	II	0,75	20	10	4/3	2,33	2,99	1,33	2,22	2,73	1,53	2,18	0,65	2,33	3,33	35
		0,75	14	14	3/2	2	3	1	1,6	2,16	1,25	1,87	0,62	2	3	36
0,67	24	8	4/3	3	2	2	2,22	2,73	1,64	2,26	0,61	2,66	3,66	28		

Примечание. h_{max} – максимальная толщина слоя породы, срезаемого алмазом при неустановившемся режиме разрушения породы на забое; h_1 и h_2 – соответственно, толщина слоя породы, срезаемого алмазами первого рабочего ряда, и второго и последующих рядов при установившемся режиме разрушения породы; H_o , H_o/h_a – соответственно, углубка за оборот и относительная углубка за оборот.

Результаты полученных данных компьютерного моделирования показали, что для коронок с несколькими рабочими рядами в секторе наиболее рациональной конструкцией с точки зрения обеспечения максимума механической скорости бурения при меньшей нагруженности алмазов является коронка с раскладкой I типа. При такой раскладке алмазы первого рабочего ряда сектора нагружены равномерно. Однако, эта нагрузка не менее чем в 2 раза больше нагрузки, действующей на алмазы последующих рядов со стороны породы. Для раскладки II типа характерно неравномерное распределение нагрузки на алмазы первого рабочего ряда. Максимальная нагрузка приходится на алмазы второго радиального ряда и превышает нагрузку на алмазы третьего и последующих радиальных рядов более чем в 3 раза (по сравнению с раскладкой I типа этот показатель больше примерно на 25 %).

При неустановившемся режиме работы коронки с раскладкой I типа максимальная толщина слоя породы, срезаемая алмазом зависит от отношения l_n/l_a и определяется по формуле:

$$h_{max} = h_a \left[1 + \sum_{i=1}^m (1 - \kappa_n)^i \right] \quad (6)$$

где $\kappa_n = n_1/n_a$, n_1 – количество алмазов в первом рабочем ряду сектора, n_a – количество алмазов в секторе; $m = (l_n/l_a) - 1$, если отношение l_n/l_a дробное, то m принимается равной целой части результата (без округления).

Для таких коронок, учитывая меньшую нагрузку на алмазы третьего и последующих радиальных рядов сектора, возможно использование алмазов более низкой прочности, что может снизить затраты на их изготовление.

Углубка за оборот для коронок с раскладкой I типа равна:

$$H_o = N_c \cdot n_L \cdot h_a, \quad (7)$$

где N_c – количество секторов коронки; n_L – количество алмазов на одной линии резания сектора.

Следует отметить, что формула (7) аналогична известной формуле для твердосплавных коронок [6]. Поэтому точный прогноз углубки за оборот и механической скорости бурения для коронок этого типа зависит от точности определения величины h_a .

Для коронки с раскладкой II типа углубка за оборот составляет:

$$H_o = N_c \cdot n_L^* \cdot h_a, \quad (8)$$

где n_L^* – среднее число алмазов на двух смежных линиях резания.

$$n_L^* = (n_{L1} + n_{L2}) / 2 = [n_{L1} + (n_{L1} - 1)] / 2 = n_{L1} - 0,5,$$

где n_{L1} – наибольшее количество алмазов на одной из двух смежных линий резания, n_{L2} – количество алмазов на второй из двух смежных линии резания, для этих коронок $n_{L2} = n_{L1} - 1$.

Отсюда

$$H_o = N_c \cdot (n_{L1} - 0,5) \cdot h_a \quad (9)$$

Таким образом, использование полученной модели позволяет оценить влияние схемы раскладки алмазов на механическую скорость бурения и нагруженность алмазов сектора.

Библиографический список

1. Корнилов Н. И., Буровой инструмент для геологоразведочных скважин: Справочник / Н. И. Корнилов, Н. Н. Бухарев, А. Т. Киселев и др. Под ред. Н. И. Корнилова. – М. : Недра, 1990. – 395 с.
2. Чихоткин, В. Ф. Исследование техники и технологии бурения геолого-разведочных скважин и разработка нового поколения алмазного породоразрушающего инструмента / В. Ф. Чихоткин. – М. : ОАО «ВНИИОЭНГ», 1997. – 241 с.
3. Соловьев, Н. В. Ресурсосберегающая технология алмазного бурения в сложных геологических условиях / В. Ф. Чихоткин, Р. К. Богданов, А. П. Загора. – М. : ОАО «ВНИИОЭНГ», 1997. – 332 с.
4. Зыбинский, П. В. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении: Монография / Р. К. Богданов, А. П. Загора, А. М. Исонкин. – Донецк : Норд-Пресс, 2007. – 244 с.
5. Цыпин Н. В. Износостойкость композиционных алмазосодержащих материалов для бурового инструмента / Н. В. Цыпин. – К. : Наук. думка, 1983. – 191 с.
6. Сулакшин С. С. Разрушение горных пород / С. С. Сулакшин. – Томск: ТПУ, 1994. – 100 с.

Поступила в редакцию 20.12.11.

А. А. Каракозов¹, М. С. Попова¹, С. М. Парфенюк¹, Р. К. Богданов², А. П. Загора²

¹ ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна

² Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

Моделювання роботи алмазних різців одношарових коронок на забої та оцінювання впливу схеми розкладки алмазів на механічну швидкість буріння

У статті наведена розрахункова модель руху коронки на вибої. Надана оцінка впливу розкладки алмазів на механічну швидкість буріння та навантаженість алмазів сектору.

Ключові слова: алмазна одношарова коронка; розкладка алмазів; механічна швидкість буріння.

A. A. Karakozov¹, M. S. Popova¹, S. N. Parfenyuk¹, R. K. Bogdanov², A. P. Zakora²

¹ Donets'k national technical university, Donetsk, Ukraine

² V. Bakul Institute for Superhard Materials National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

Modeling of single-layer diamond core bits on bottomhole and impact evaluation of diamonds layout on penetration rate

The article summarizes the diamond core drill bit bottomhole motion model. The influence of the diamonds layout on penetration rate and load of single diamond in the bit sector.

Keywords: single-layered diamond core bit, diamonds layout, penetration rate.