

In carrying out scientific work chosen method of calculating the operating parameters of the improved packer. Selected design and operating parameters are calculated packer. Completed assembly drawing developed by the packer. A technology for pumping fluid downhole hydraulic pump with packer developed.

Key words: hydraulic packer, hydraulic pump, borehole.

Литература

1. Казак А. С. Погружные поршневые бесштанговые насосы с гидроприводом. – Л.: Гостоптехиздат, 1961. – 320 с.
2. Неудачин Г. И., Пилипец В. И. Погружной бесштанговый насос для подъема воды из буровых скважин // Гидротехника и мелиорация». – 1981 – № 7.
3. Пилипец В. И. Насосы для подъема жидкости. Учебное пособие с грифом Минвуза. -Донецк: 2000. – 244 с.

Поступила 01.07.11

УДК 622.24.051.64

А. А. Каракозов¹, канд. техн. наук, **М. С. Попова¹**, инж.,
Р. К. Богданов², **А. П. Загора²**, кандидаты технических наук

¹ Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина

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

О ПРОЦЕССЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АЛМАЗОВ С ЗАБОЕМ СКВАЖИНЫ ПРИ РАБОТЕ ОДНОСЛОЙНЫХ КОРОНОК

В статье рассмотрены вопросы уточнения модели взаимодействия алмазных резов с забоем скважины при эксплуатации однослойных алмазных буровых коронок.

Ключевые слова: алмазные однослойные коронки, взаимодействие с забоем скважины.

Потребность в новых эффективных средствах бурения геологоразведочных скважин наряду с успехами в области синтеза крупных алмазных монокристаллов для армирования однослойных алмазных коронок обусловили необходимость дальнейшего развития научных основ разработки конструкций и технологий применения породоразрушающего инструмента.

Использование крупных синтетических алмазов в качестве породоразрушающих элементов однослойных коронок позволяет рассчитывать на интенсификацию процесса разрушения породы на забое и увеличение механической скорости бурения. Однако при этом возрастают требования к точности расчётных моделей, в частности, взаимодействия алмазов с забоем, что необходимо для оценки прочностных характеристик алмазных резов при форсированных режимах работы.

При прочих равных условиях наибольшую опасность для алмазного реза представляют изгибающие напряжения, величина которых зависит от глубины внедрения алмаза. В настоящее время расчёт глубины внедрения алмаза сводится к следующему [1-4]. Предполагая симметричное распределение нагрузки на все сектора коронки, определяется усилие, действующее на один сектор:

$$P_c = \frac{P_{oc}}{N_c}, \quad (1)$$

где P_{oc} – осевая нагрузка на коронку; N_c – количество секторов.

Тогда на один алмаз в секторе будет действовать усилие:

$$P_a = \frac{P_c}{n_a} = \frac{P_{oc}}{N_c n_a}, \quad (2)$$

где n_a – количество алмазов в одном секторе.

Под действием усилия P_a все алмазы внедрятся на одинаковую величину:

$$h_a = \frac{P_a}{P_{ум} \pi R} = \frac{P_c}{P_{ум} \pi R n_a}, \quad (3)$$

где h_a – глубина внедрения алмаза в породу; $P_{ум}$ – твердость породы по штампу.

При этом глубина разрушения породы h_p определяется величиной h_a :

$$h_p = \frac{k_p k_a P_a}{P_{ум} \pi R} = k_p k_a h_a, \quad (4)$$

где k_p и k_a – коэффициенты разрушения горной породы и формы алмаза.

Однако эта модель не учитывает особенностей работы алмазных резцов при движении коронки на забое как единой системы, что может оказать влияние на их взаимодействие с забоем и нарушить симметричное распределение внедрения алмазов в породу в процессе бурения.

Целью статьи является установление характера взаимодействия алмазных резцов с забоем при их движении и определение максимальной величины внедрения алмазов в горную породу в зависимости от конструктивных особенностей коронки, в частности, от схемы размещения алмазов по торцу матрицы.

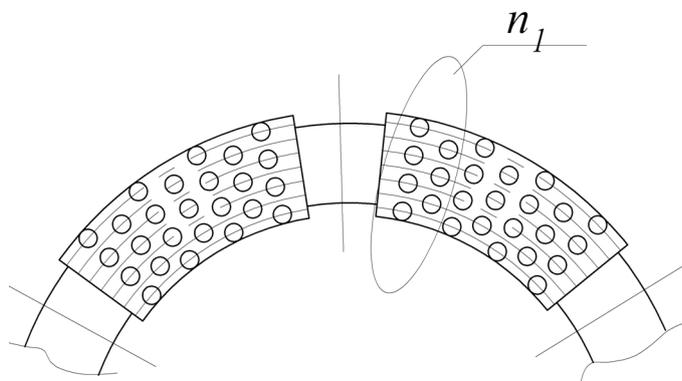


Рис. 1 – Схема размещения алмазов в матрице: n_1 – количество алмазов в первых двух радиальных рядах

В однослойных коронках алмазы по торцу матрицы располагаются в один слой по определенной схеме. Схема размещения торцевых алмазов выбирается в зависимости от размеров используемых алмазов, конфигурации промывочных окон и т.д. Рассмотрим коронку с радиальным расположением алмазов по торцу матрицы (рис. 1), схема размещения которых рассчитывается по методике Н.В. Цыпина [5]. При этом предполагается такой режим работы, при котором области, образуемые зонами внедрения алмазов разных линий резания, не перекрывают друг друга, а, в крайнем случае, только лишь соприкасаются. Это типичная ситуация при работе алмазной коронки, подтверждаемая экспериментальными

данными [1]. При рассмотрении работы коронки также будем использовать понятие рабочего ряда алмазов – минимальной совокупности радиальных рядов, считая от переднего торца сектора, алмазы в которых перекрывают все линии резания. Например, для схемы на рис. 1 первый рабочий ряд – это 1-й и 2-й радиальные ряды, второй рабочий ряд – это 3-й и 4-й радиальные ряды и т.д.

На рис. 2 показана схема взаимодействия алмазов периферической линии резания с горной породой. При начале движения (рис. 2 а), обусловленного вращением коронки, алмазы под действием осевой нагрузки внедряются в породу на величину h_a , определяемую по формуле (3).

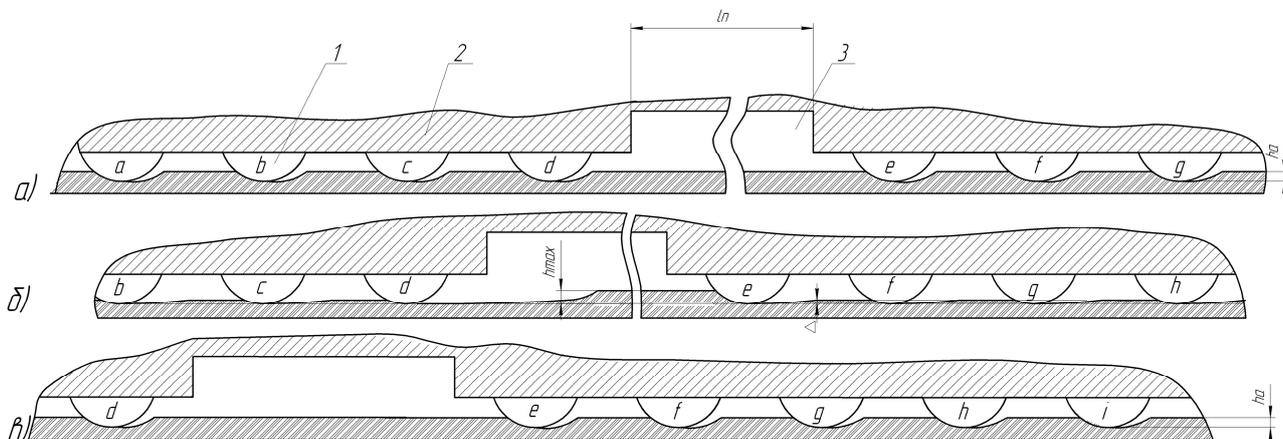


Рис. 2. Схема взаимодействия алмазов с горной породой: 1 – алмаз; 2 – матрица; 3 – промывочное окно; l_n – длина промывочного окна

Когда коронка повернется на угол, при котором второй и последующие алмазы в линии резания переместятся на место предыдущих, то лобовое сопротивление с алмазов (кроме первого и второго радиальных рядов в секторе) снимется (рис. 2, б). Это означает, что фактически происходит перераспределение сил сопротивления, действующих на алмазы. Тогда под действием осевой нагрузки произойдет углубка всех алмазов на величину Δ , которую можно найти из условия неизменности площади внедрения всех алмазов в породу, обусловленного постоянством осевой нагрузки на забой:

$$\pi R(h_a + \Delta)n_1 + \pi R\Delta(n_a - n_1) = \pi Rn_a h_a, \quad (5)$$

где R – радиус алмаза; n_1 – количество алмазов в первом рабочем ряду (равно количеству алмазов в первом и втором радиальном рядах, см. рис. 1).

Преобразуя (5), получим

$$h_a n_1 + \Delta n_1 + \Delta n_a - \Delta n_1 = n_a h_a,$$

откуда

$$\Delta = \left(1 - \frac{n_1}{n_a}\right) h_a, \quad (6)$$

или

$$\Delta = (1 - k_n) h_a, \quad (7)$$

где $k_n = n_1/n_a$ – отношение количества алмазов в первом рабочем ряду к общему количеству алмазов в секторе.

При этом алмазы первого рабочего ряда внедрятся на максимально возможную для алмаза величину h_{\max} (рис. 2 б):

$$h_{\max} = h_a + \Delta = h_a + \frac{n_a - n_1}{n_a} h_a$$

$$h_{\max} = h_a \left(\frac{n_a - n_1}{n_a} + 1 \right) = h_a \left(1 - \frac{n_1}{n_a} + 1 \right).$$

Отсюда

$$h_{\max} = h_a \left(2 - \frac{n_1}{n_a} \right) = h_a (2 - k_n). \quad (8)$$

Из формулы (8) видно, что величина h_{\max} может значительно превышать величину h_a , рассчитанную по формуле (3), при этом, чем меньше алмазов в первом рабочем ряду, тем максимальная глубина внедрения алмазов больше.

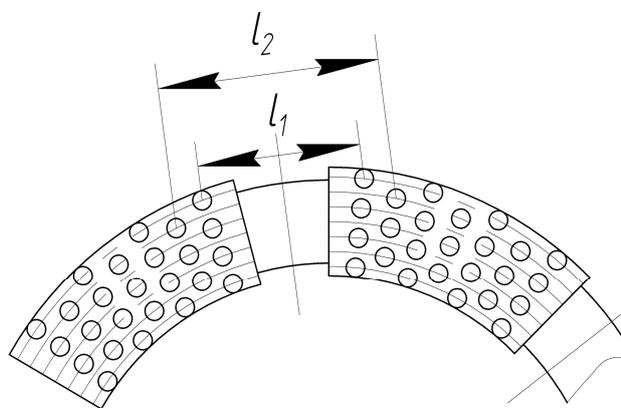


Рис. 3. Вид торца коронки с одинаковым количеством алмазов в первом и последнем радиальных рядах

Алмазы первого рабочего ряда остаются внедрёнными в породу на величину h_{\max} , которая не меняется при прохождении ими области, находящейся в начальный момент под промывочными окнами, т.е. пока алмаз e не переместится на место, которое в начальном положении занимал алмаз d (см. рис. 2 а). После этого сопротивление горной породы по передней поверхности алмазов выравнивается, и они все опять углубятся в породу на глубину h_a (рис. 2 в).

Представленный случай справедлив для коронки, у которой количество алмазов в первом радиальном ряду сектора (n_{11}) больше, чем в последнем.

Однако в коронках может использоваться и такая схема раскладки алмазов, в которой количество алмазов в первом радиальном ряду сектора равно количеству алмазов в последнем ряду (рис. 3). При этом алмазы второго радиального ряда (их количество – n_{12}), проходя через область промывочных

онок, в нагруженном состоянии преодолевают расстояние большее, чем алмазы первого радиального ряда ($l_2 > l_1$), поэтому в определенный момент времени они будут нагружены больше остальных.

Рассмотрим схему работы алмазов в этом случае (рис. 4).

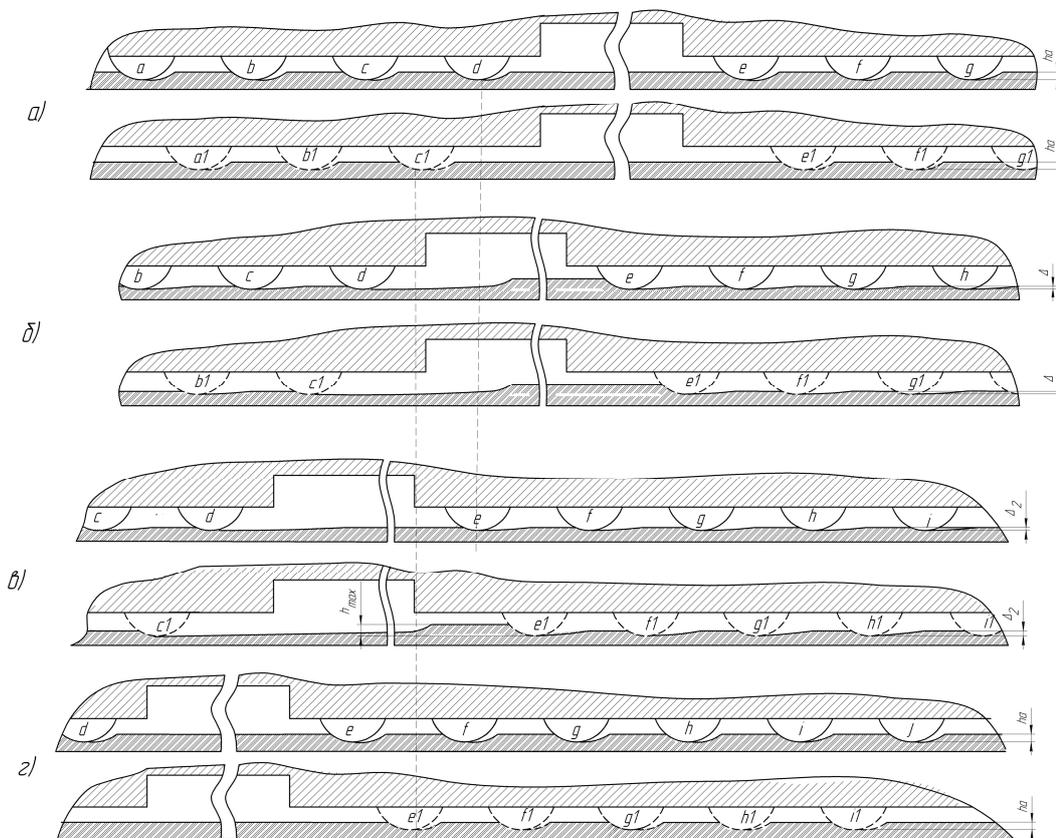


Рис. 4. Схема взаимодействия алмазов с горной породой (количество алмазов в первом и последнем радиальных рядах сектора равны)

В начальный момент движения коронки алмазы первой (a, b, c, d, e, f и т.д.) и второй ($a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1$ и т.д.) линий резания, как и в предыдущем случае, углубятся на одинаковую величину h_a (рис. 4 а). В момент, когда алмазы третьего и последующих радиальных рядов переместятся на место размещенных впереди, сопротивление их движению уменьшится, и все алмазы дополнительно углубятся в породу на глубину Δ . Однако, при этом силы сопротивления движению увеличатся на первые два радиальных ряда (см. рис. 4 б, алмазы e и e_1). Так будет продолжаться до тех пор, пока алмаз e не переместится на первоначальное место алмаза d . Сопротивление алмазам первого радиального ряда уменьшится, и все алмазы снова смогут углубиться на величину Δ_2 , при этом алмаз e_1 , как и все алмазы второго радиального ряда, будет испытывать максимальное сопротивление, а глубина его внедрения в породу будет составлять h_{max} (рис.4в). Когда алмаз e_1 станет на место алмаза c_1 , сопротивление на всех алмазах уменьшится, и они снова углубятся на величину h_a (рис. 4 з).

В этом случае:

$$\pi R \Delta_2 n_{11} + \pi R (h_a + \Delta + \Delta_2) n_{12} + \pi R (\Delta + \Delta_2) (n_a - n_{12} - n_{11}) = \pi R n_a h_a$$

или

$$n_{12} h_a + n_a \Delta - n_{11} \Delta + n_a \Delta_2 = n_a h_a$$

Отсюда

$$\Delta_2 = \frac{h_a (n_a - n_{12}) - \Delta (n_a - n_{11})}{n_a} \quad (9)$$

где величины n_{11} и n_{12} определяются в зависимости от числа линий резания: при чётном количестве линий резания $n_{11} = n_{12} = n_1/2$, а при нечётном количестве – $n_{11} = (n_1 + 1)/2$ и $n_{12} = (n_1 - 1)/2$.

Для иллюстрации полученных результатов проведены расчёты для однослойных алмазных коронок диаметром 59, 76 и 93 мм, армированных алмазами диаметром 1,5 мм (крупность 32 шт/карат). Параметры коронок рассчитаны по методике Н.В. Цыпина. Расчёты проведены для пород VI и IX категорий по буримости, соответствующих границам диапазона использования разрабатываемых коронок. При этом значение осевой нагрузки принималось по рекомендациям для серийных алмазных коронок. Результаты расчетов для коронок, в которых количество алмазов в первом и последнем радиальных рядах сектора равны (см. рис. 4), приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчёта глубины внедрения алмазов в породу

Диаметр коронки, мм	Количество секторов коронки	Количество алмазов в секторе	Количество алмазов в рабочем ряду, n_1	Категория пород по буримости	Нагрузка на алмаз P_a , Н	$h_a, 10^{-5}$ м	$\Delta, 10^{-5}$ м	$\Delta_2, 10^{-5}$ м	$h_{max}, 10^{-5}$ м	h_a/h_{max} %
59	6	25	7	VI	33,3	1,01	0,73	0,28	2,03	50,12
				IX	53,3	0,59	0,43	0,16	1,2	
76	8	28	6	VI	26	0,81	0,58	0,22	1,63	50,25
				IX	53,6	0,62	0,43	0,16	1,2	
93	10	32	8	VI	25	0,76	0,54	0,2	1,52	50,31
				IX	46,8	0,52	0,37	0,14	1,05	

Из таблицы видно, что алмазы первого радиального ряда могут быть нагружены почти в два раза больше остальных, и, следовательно, они определяют прочностные свойства алмазного сырья, используемого в коронке. К тому же эти алмазы подвергаются наибольшему износу при работе коронки. В то же время, остальные алмазы работают в более щадящем режиме, поскольку никогда не бывают нагруженными так, как алмазы первого рабочего ряда.

С целью снижения сил сопротивления, действующих на алмазы первого рабочего ряда, были рассмотрены некоторые варианты раскладки алмазов в торце сектора.

Рассмотрим случай, когда в первом рабочем ряду используются более крупные алмазы (рис. 5). Тогда глубина внедрения алмазов h_{a1} может быть найдена из условия

$$\pi R_1 h_{a1} n_1 + \pi R h_{a1} (n_a - n_1) = \pi R h_a n_a,$$

где R_1 – радиус алмазов, находящихся в первом и втором радиальных рядах ($R_1 > R$); R – радиус алмазов последующих рядов.

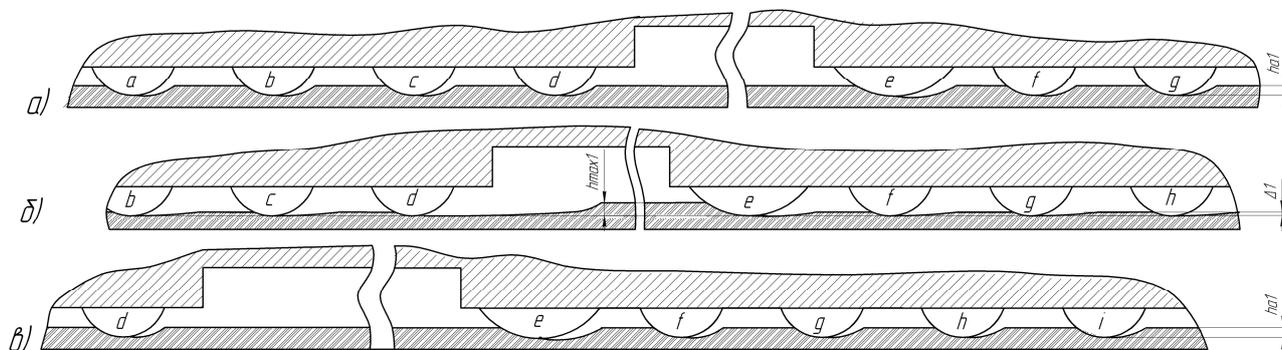


Рис. 5. Схема взаимодействия алмазов с горной породой в случае, если в первом рабочем ряду используются алмазы большего диаметра

Преобразуя, получим:

$$h_{a1} = h_a \frac{n_a}{n_a + n_1(R_1/R - 1)} \quad (10)$$

$$h_{a1} = h_a \frac{n_a}{n_a + n_1(k_R - 1)} \quad (11)$$

$$h_{a1} = \frac{h_a}{1 + k_n(k_R - 1)} \quad (12)$$

$$h_{a1} = h_a / k_h \quad (13)$$

где $k_R = R_1/R$

$$k_h = 1 + k_n(k_R - 1)$$

При движении коронки наступит момент, когда силы сопротивления, действующие на алмазы, следующие за первым рабочим рядом, уменьшатся (рис. 5б). Под действием осевой нагрузки произойдет углубка всех алмазов на величину Δ_1 . Из условия неизменности площади внедрения алмазов имеем:

$$\pi R_1(h_{a1} + \Delta_1)n_1 + \pi R \Delta_1(n_a - n_1) = \pi R n_a h_a.$$

Отсюда

$$\Delta_1 = h_a \frac{n_a - n_1 k_R k_h}{n_a + n_1(k_R - 1)}. \quad (14)$$

Также как и в рассмотренном ранее случае, алмазы первого и второго радиальных рядов секторов коронки внедрятся в породу на глубину $h_{\max 1}$ (рис. 5б):

$$h_{\max 1} = h_{a1} + \Delta_1 = h_a k_h + h_a \frac{n_a - n_1 k_R k_h}{n_a + n_1(k_R - 1)} = h_a \left(k_h + \frac{n_a - n_1 k_R k_h}{n_a + n_1(k_R - 1)} \right) \text{ или}$$

$$h_{\max 1} = h_a \frac{2n_a - n_1 k_R k_h}{n_a + n_1(k_R - 1)} \quad (15)$$

В формулах (14) и (15) $k_R > 1$ и $k_h > 1$. Следовательно, глубина внедрения в породу алмазов первого рабочего ряда будет меньше, чем при использовании одинаковых алмазов. Кроме того, более крупные алмазы при прочих равных условиях будут более прочными, что позволяет оптимизировать раскладку алмазов с точки зрения действующих на них нагрузок.

Следует заметить, что при $k_R = 1$ и $k_h = 1$ формулы (14) и (15) преобразуются в соотношения (7) и (8) соответственно.

Рассмотрим второй случай, когда алмазы первого рабочего ряда имеют меньший выпуск из матрицы по сравнению с остальными на величину x (рис. 6).

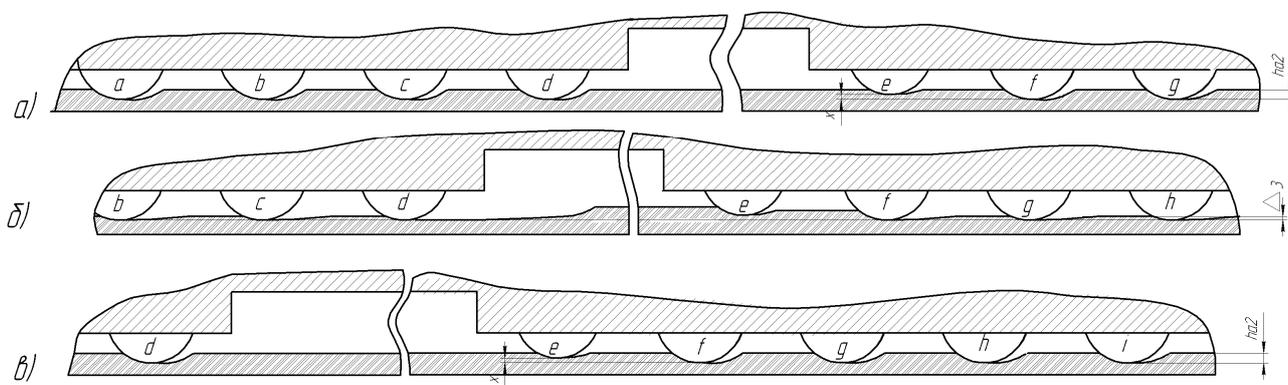


Рис. 6. Схема взаимодействия алмазов с горной породой при использовании в первом рабочем ряду сектора алмазов с меньшим выпуском

Тогда глубина внедрения алмазов h_{a2} может быть найдена из условия:

$$\pi R(h_{a2} - x)n_1 + \pi R h_{a2}(n_a - n_1) = \pi R h_a n_a.$$

Преобразуя, получим:

$$h_{a2} = h_a + \frac{n_1}{n_a} x = h_a + k_n x. \quad (16)$$

Когда коронка провернётся таким образом, что алмазы второго и следующих рабочих рядов окажутся на месте предыдущих рядов, то сопротивление алмазам третьего и последующих рабочих рядов резко уменьшится. Поэтому под действием осевой нагрузки произойдет дополнительная углубка всех алмазов на величину Δ_3 . В результате алмазы второго рабочего ряда углубятся на величину $x + \Delta_3$, в то время как алмазы первого рабочего ряда будут иметь углубку равную $h_{a2} - x + \Delta_3$. Величину Δ_3 также можно найти из условия неизменности площади внедрения алмазов:

$$\pi R(h_{a2} - x + \Delta_3)n_1 + \pi R(x + \Delta_3)n_2 + \pi R\Delta_3(n_a - n_1 - n_2) = \pi R h_a n_a,$$

где n_2 – количество алмазов во втором рабочем ряду.

Отсюда

$$\Delta_3 = \frac{h_a n_a - n_1 h_{a2} + n_1 x - n_2 x}{n_a}. \quad (17)$$

Учитывая, что $n_1 = n_2$ получим:

$$\Delta_3 = \frac{h_a n_a - n_1 h_{a2}}{n_a}. \quad (18)$$

или

$$\Delta_3 = h_a - \frac{n_1}{n_a} h_{a2} = h_a - k_n h_{a2}. \quad (19)$$

По полученным формулам были произведены расчёты для тех же коронок с алмазами крупностью 32 шт/карат. Более крупные алмазы первого рабочего ряда принимались диаметром 1,8 мм ($R_f=0,0009$; $k_R=1,2$). Величина x условно принималась в пределах 0,17-0,33 мм. Результаты расчётов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчёта глубины внедрения алмазов в породу для модифицированных раскладок алмазов

Диаметр коронки, мм	Количество секторов коронки	Количество алмазов в секторе	Количество алмазов в рабочем ряду, n_1	Категория пород по буримости	Нагрузка на алмаз P_a , Н	$h_{max1}, 10^{-5}$ м (рис. 5)	$x, 10^{-5}$ м (рис. 6)	$h_{a2}, 10^{-5}$ м (рис. 6)	$\Delta_3, 10^{-5}$ м (рис. 6)
59	6	25	7	VI	33,3	1,62	0,33	1,11	0,7
				IX	53,3	0,95	0,2	0,65	0,41
76	8	28	6	VI	26	1,3	0,27	0,89	0,56
				IX	53,6	0,95	0,2	0,65	0,48
93	10	32	8	VI	25	1,21	0,25	0,83	0,55
				IX	46,8	0,83	0,17	0,57	0,38

Как видно из табл. 2, максимальная углубка алмазов первого, а для последнего случая и второго, рабочих рядов для модифицированных коронок будет меньше (не менее чем на 30%), чем для исходной коронки.

Выводы

Анализ работы алмазных резцов однослойных коронок и выполненные расчеты показывают, что при бурении алмазы первого рабочего ряда сектора коронки испытывают сопротивление вдвое большее, чем остальные алмазы. Для уравнивания сил сопротивления на эти алмазы необходимо применение в первом рабочем ряду каждого сектора более крупных алмазов, установленных с одинаковым выпуском, или же уменьшать выпуск используемых в коронке алмазов одинакового размера для первого рабочего ряда. Кроме того, возможен вариант оснащения первого рабочего ряда более прочными алмазами по сравнению с остальными. Все это даст возможность обеспечить более равномерное нагружение и уменьшить износ алмазных резцов в процессе бурения.

У статті розглянуті питання уточнення моделі взаємодії алмазних різців з вибоєм свердловини при експлуатації одношарових алмазних бурових коронок.

Ключові слова: алмазні одношарові коронки, взаємодія з вибоєм свердловини.

The article reviews ways of refinement of the model of diamond cutter interaction with borehole bottom during operation of single-layer diamond drill bit.

Key words: single-layer diamond drill bit, interaction with borehole bottom.

Литература

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.

Поступила 06.07.11

УДК 622.24

А. А. Каракозов, канд. техн. наук, **С. Н. Парфенюк**, инж.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина

О ВЛИЯНИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ НА ВПУСКНОМ КЛАПАНЕ НА РАБОЧИЙ ЦИКЛ ГИДРОУДАРНИКА ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ ПОРШНЕМ

В статье представлены результаты аналитических и экспериментальных исследований влияния гидравлических сопротивлений на впускном клапане на параметры рабочего цикла гидроударника двойного действия с дифференциальным поршнем.

Ключевые слова: гидроударник, гидравлические сопротивления.

Гидроударники двойного действия с дифференциальным поршнем достаточно широко применяются как при бурении скважин, так и при ликвидации прихватов бурового снаряда [1 – 3].

При анализе рабочего цикла гидроударника двойного действия с дифференциальным поршнем при рассмотрении хода бойка вниз обычно считают, что давление в верхней и нижней полости цилиндра гидроударной машины равны между собой, т.е. пренебрегают потерями давления на впускном клапане [3 – 6]. Поэтому при создании практических конструкций гидроударников для