

## КОЕФІЦІЄНТ ПЕРЕКРИТТЯ ВИБОЮ СВЕРДЛОВИНИ ПРИ БУРІННІ ТВЕРДОСПЛАВНОЮ КОРОНКОЮ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

*А.А. Кожевников, В.Л. Хоменко, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна*

*Baochang Liu, Jilin University, China*

Наведено результати конструктивного аналізу схем розташування твердосплавного озброєння в твердосплавній коронці нового покоління БТК. На підставі отриманих результатів видно, що усього можливі дев'ять різних варіантів, з яких п'ять є принципово новими. Отримана аналітична залежність коефіцієнту перекриття, який характеризує ступінь досконалості конструкції для різних варіантів ширини різальних елементів коронки на одному радіусі.

**Вступ.** Твердосплавні коронки призначені для колонкового обертального та обертально-ударного способів буріння свердловин в м'яких і середньої твердості породах I–VIII і частково IX категорій з буримості. Ними бурять майже половину усього об'єму розвідувальних колонкових свердловин.

Твердосплавні коронки мають цілий ряд переваг порівняно з алмазними. Завдяки більшому виходу різців із короночного кільця і більшої глибини їх впровадження в породу механічна швидкість буріння вище, ніж при алмазному бурінні. Твердосплавні коронки менш чутливі до вібрацій через меншу чутливість до динамічних ударних навантажень. Все це дозволяє не висувати жорстких вимог до різних елементів технології відпрацювання твердосплавних коронок. Вартість 1 пог. метру свердловини при твердосплавному бурінні зазвичай значно нижче ніж при алмазному.

Появу перших конструкцій твердосплавних коронок зазвичай пов'язують з німецьким винахідником Хуго Ломаном, який починаючи з 1913-1914 рр, винайшов цілий ряд різних твердих сплавів. Проведені патентні дослідження в базах даних ЄПВ дозволили виявити перший патент на коронку, озброєну твердосплавними різцями. Це коронка описана в патенті Німеччини DE335805, який виданий Alfred Stapf и Hans Hundrieser. Патент було видано 14.04.1921, заявлено 26.03.1920 [1].

Твердосплавні коронки швидко стали основним породоруйнучим інструментом при колонковому бурінні. Ефективне руйнування гірської породи твердосплавними коронками досягається за рахунок раціонального підбору складу твердого сплаву, геометрії різців, їх розташування по торцю коронки, розвиненої промивальної системи і оптимального поєднання параметрів режиму буріння.

Однак швидке зношування різців твердосплавних коронок часто призводить до передчасного закінчення рейсу при неповній колонковій трубі. Через це в теперішній час обсяги твердосплавного буріння постійно скорочуються. На зміну твердосплавним коронкам приходять снаряди зі знімними керноприймачами, які оснащені алмазними коронками.

Таким чином, вдосконалення конструкції твердосплавних коронок, що дозволить збільшити проходку на коронку і механічну швидкість буріння, є актуальним науковим завданням, що дозволить суттєво підвищити ефективність буріння свердловин.

**Постановка проблеми.** Твердосплавні різці повинні перекривати торець і виступати за зовнішню і внутрішню бічні поверхні корпусу коронки, а також височіти над торцем. Величину виходу різців за зовнішню і внутрішню поверхні корпусу коронки приймають залежно від твердості порід, їх стійкості і швидкості поглиблення. Залежно від випуску торцевих різців вибій може бути плоским, одно- або багатоступінчастим. Відома бурова твердосплавна коронка СТК призначена для колонкового буріння свердловин різного призначення в мало- і середньо абразивних породах середньої твердості і твердих. Результати буріння цією коронкою в різних геолого-технічних умовах показали її високу ефективність, як при обертальному бурінні, так і при обертально-ударному [2].

Відмітними особливостями коронок СТК є:

- рівновеликі розміри твердосплавних пластин по радіусу;
- симетричне розташування твердосплавних пластин відносно середнього кола коронки;
- рівновеликі розміри ширини проміжку між твердосплавними пластинами в пакеті і ширини целіка гірської породи, що утворюється на вибої при роботі коронки СТК.

Бурова твердосплавна коронка нового покоління (БТК) була запропонована як вдосконалена конструкція коронки СТК [3]. Її відмітними особливостями є наступні ознаки:

- твердосплавні пластини виконані з нерівновеликими розмірами по радіусу;
- нерівновеликі твердосплавні пластини розташовані з чергуванням по зовнішньому і внутрішньому діаметрам коронки;
- нерівновеликі твердосплавні пластини розташовані асиметрично відносно середнього кола коронки;
- нерівновеликі розміри ширини проміжку між твердосплавними пластинами в пакеті і ширини целіка гірської породи, що утворюється на вибої при роботі коронки нового типу [4].

В роботі [5] проводився аналіз конструктивних схем розташування твердосплавних різців в буровій коронці БТК.

**Метою статті** є подальший уточнений та поглиблений аналіз конструктивних особливостей коронки БТК.

**Основний зміст.** Основна конструктивна відмінність між коронками СТК і БТК полягає в наступному. У коронці СТК твердосплавні різці, що формують вибій і kern мають однакові розміри, а в коронці БТК вони різні.

Розглянемо конструктивні схеми обох цих коронок. Порівняльна схема роботи коронок СТК і БТК приведена на рис. 1. Штриховкою показана площа вибою, що не руйнується різцями (целік).

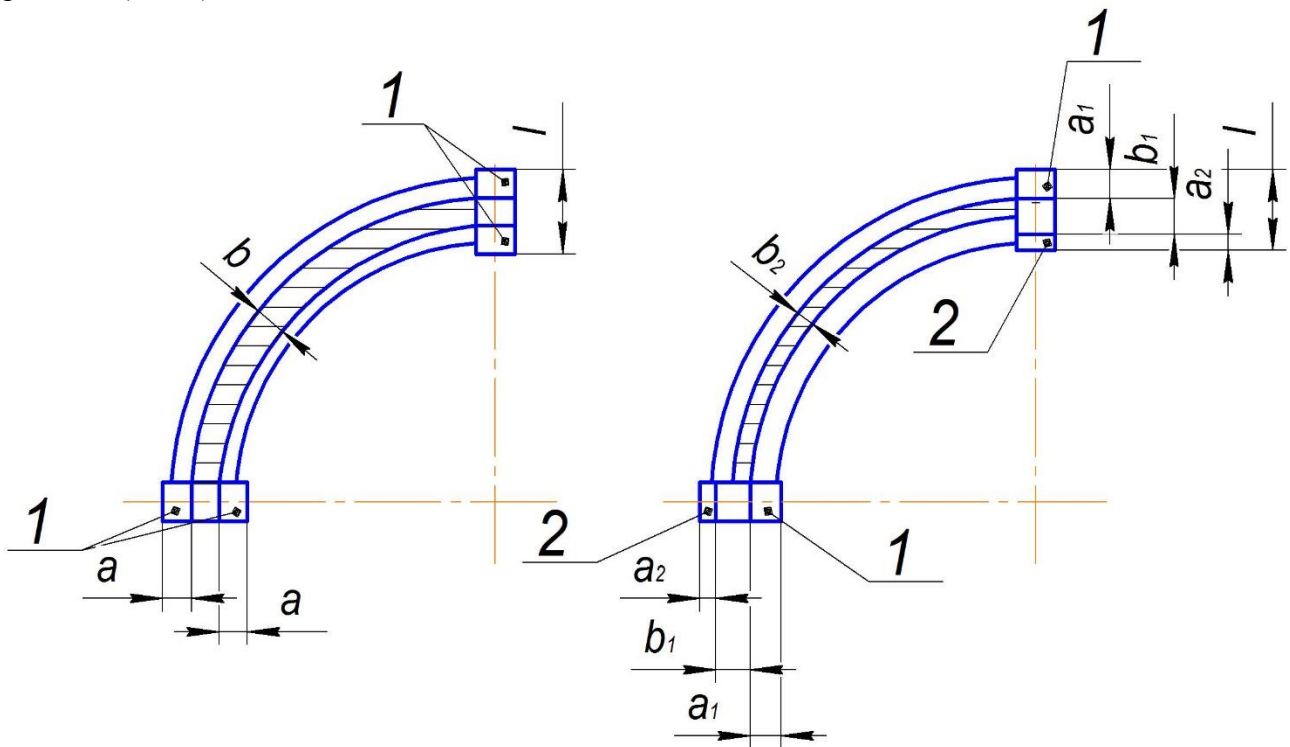


Рис. 1. Порівняльна схема роботи твердосплавних коронок:  
а – коронка СТК; б – коронка БТК

Використовуватимемо наступні буквені позначення різних конструктивних елементів коронок.

l – товщина коронки (ширина кільця різання);

a – ширина породоруйнівного елемента коронки СТК;

$a_1$  – ширина першого породоруйнівного елемента коронки БТК;  
 $a_2$  – ширина другого породоруйнівного елемента коронки БТК;  
 $b$  – радіальна відстань між першим і другим породоруйнівними елементами в коронці СТК, тобто ширина целіка гірської породи, що утворюється при її роботі;  
 $b_1$  – радіальна відстань між першим і другим породоруйнівними елементами в коронці БТК;  
 $b_2$  – ширина целіка, що утворюється при роботі коронки БТК.

Сумарна довжина різальних елементів коронки на одному радіусі:  
 для коронки СТК

$$\Sigma a = a + a = 2a; \quad (1)$$

для коронки БТК

$$\Sigma a = a_1 + a_2. \quad (2)$$

Ширину целіка, що утворюється при роботі коронки СТК, визначимо таким чином

$$b = 1 - \Sigma a = 1 - 2a. \quad (3)$$

У свою чергу, ширина целіка, що утворюється при роботі коронки БТК, буде дорівнювати

$$b_2 = 1 - a_{\max} - a_{\max}, \quad (4)$$

де  $a_{\max}$  – ширина найбільш широкого породоруйнівного елемента коронки БТК.

А радіальна відстань між першим і другим породоруйнівними елементами в коронці БТК, складе

$$b_1 = 1 - a_1 - a_2. \quad (5)$$

Для оцінки ступеня досконалості конструкції коронки БТК введемо коефіцієнт перекриття, який визначимо як ширину різальних елементів коронки на одному радіусі що перекидає одиницю ширини вибою

$$q_{\text{БТК}} = \frac{\Sigma a}{1 - b_2}. \quad (6)$$

Або підставляючи значення  $b_2$  із (4) отримаємо

$$q_{\text{БТК}} = \frac{\Sigma a}{1 - (1 - a_{\max} - a_{\max})} = \frac{\Sigma a}{2a_{\max}}. \quad (7)$$

Значення  $q_{\text{БТК}}$  можуть коливатись в діапазоні  $0,5 \div 1$ . При чому чим менше значення  $q_{\text{БТК}}$  тим конструкція коронки більш досконала. У випадку  $q_{\text{БТК}} = 1$ , коронка має конструкцію подібну до конструкції коронки СТК, тобто ширина першого і другого породоруйнівного елемента між собою однакові, тобто  $a_1 = a_2$ .

Проаналізуємо конструктивні схеми коронки БТК залежно від різних варіантів співвідношення розмірів її різців в порівнянні з різцями коронки СТК. Всього теоретично можливі три групи по три варіанти, разом дев'ять різних конструктивних схем розташування породоруйнівних елементів. Детально розглянемо їх.

Група 1. Розмір першого породоруйнівного елемента в коронці БТК більший, ніж в коронці СТК, тобто

$$a_1 > a.$$

Варіант 1А (рис. 2). Розмір другого породоруйнівного елемента в коронці БТК дорівнює розміру породоруйнівного елемента в коронці СТК, тобто

$$a_2 = a.$$

Для цих умов спостерігатимуться наступні співвідношення інших конструктивних параметрів.

Сумарна довжина різальних елементів коронки на одному радіусі в коронці БТК буде більше, ніж в коронці СТК, тобто

$$\Sigma_{\text{БТК}} > \Sigma_{\text{СТК}}.$$

Радіальна відстань між першим і другим породоруйнівним елементом в коронці БТК буде менше, ніж в коронці СТК, тобто

$$b_1 < b.$$

Ширина целіка, що утворюється при роботі коронки БТК, буде менше, ніж в коронці СТК, тобто

$$b_2 < b.$$

Коефіцієнт перекриття знаходиться в діапазоні

$$q_{\text{БТК}} = 0,5 \div 1.$$

1А

1Б

1В

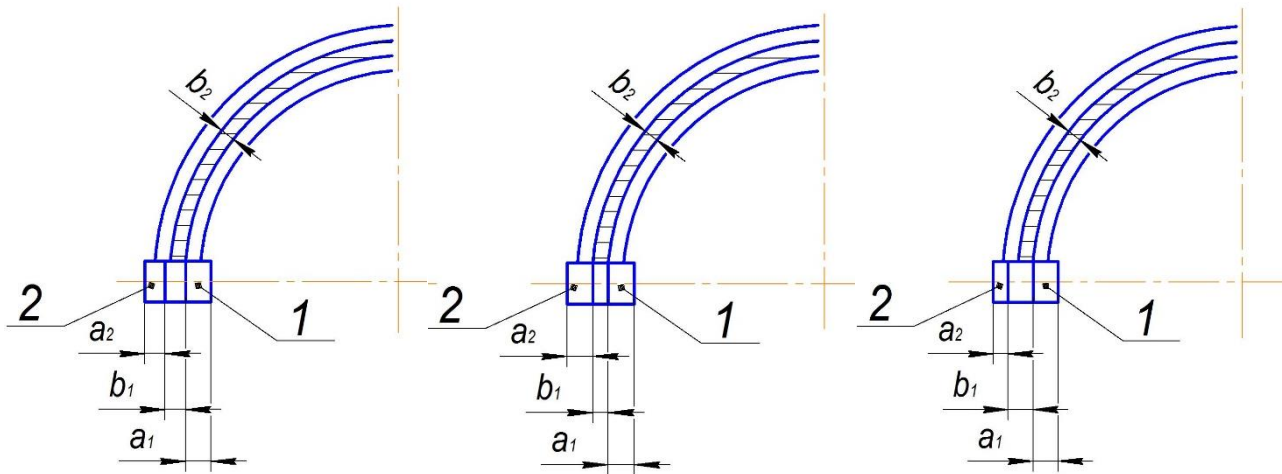


Рис. 2. Схеми 1А, 1Б, 1В розташування твердосплавних різців в коронці БТК

Варіант 1Б (рис. 2). Розмір другого породоруйнівного елемента в коронці БТК більший, ніж розмір породоруйнівного елемента в коронці СТК, тобто

$$a_2 > a.$$

Тоді спостерігатимуться наступні співвідношення інших конструктивних параметрів.

$$\Sigma_{\text{БТК}} > \Sigma_{\text{СТК}}; \quad b_1 < b; \quad b_2 < b.$$

Коефіцієнт перекриття знаходиться в діапазоні

$$q_{\text{БТК}} = 0,5 \div 1.$$

У граничному випадку (наведений на рис. 3) коли ширина другого елемента дорівнює ширині першого, тобто

$$a_1 = a_2, \quad \rightarrow \quad q_{\text{БТК}} = 1$$

Варіант 1В (рис. 2). Розмір другого породоруйнівного елемента в коронці БТК менший, ніж розмір породоруйнівного елемента в коронці СТК, тобто

$$a_2 < a.$$

В цьому випадку сумарна довжина різальних елементів коронки на одному радіусі в коронці БТК може бути як більше, ніж в коронці СТК, так і менше, тобто

$$\Sigma_{\text{БТК}} \geq \Sigma_{\text{СТК}}.$$

Аналогічна ситуація спостерігається і з радіальною відстанню між першим і другим породоруйнівним елементом в коронці БТК.

$$b_1 \geq b.$$

А ось шириною целіка, що утворюється при роботі коронки БТК, буде у будь-якому випадку менше, ніж при роботі коронки СТК, тобто

$$b_2 < b.$$

Коефіцієнт перекриття знаходиться в діапазоні

$$q_{\text{БТК}} = 0,5 \div 1.$$

Група 2. Розмір першого породоруйнівного елемента в коронці БТК дорівнює розміру породоруйнівного елемента в коронці СТК, тобто

$$a_1 = a.$$

Варіант 2А (рис. 3). Розмір другого породоруйнівного елемента в коронці БТК дорівнює розміру породоруйнівного елемента в коронці СТК, тобто

$$a_2 = a.$$

2А

2Б

2В

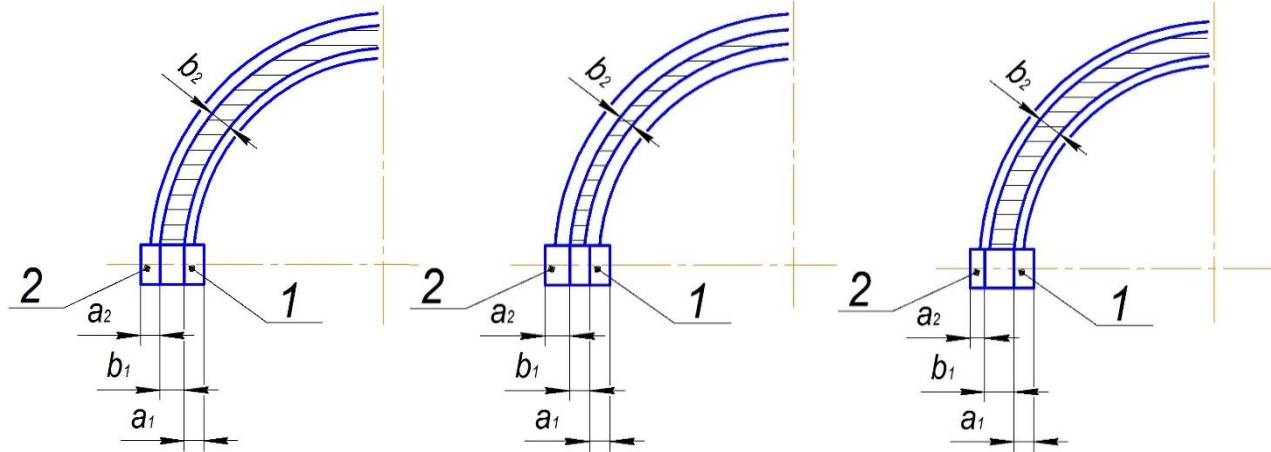


Рис. 3. Схеми 2А, 2Б, 2В розташування твердосплавних різців в коронці БТК

Відмітимо, що рівність першого і другого породоруйнівних елементів є характерною особливістю коронки СТК, а, означає, коронка СТК є часткою випадком конструктивного виконання коронки БТК

В цьому випадку, усі конструктивні параметри коронки БТК співпадатимуть з параметрами коронки СТКЕ, а саме.

$$\Sigma_{\text{БТК}} = \Sigma_{\text{СТК}}; \quad b_1 = b; \quad b_2 = b.$$

Коефіцієнт перекриття дорівнює  $q_{\text{БТК}} = 1$ .

Варіант 2Б (рис. 3). Розмір другого породоруйнівного елемента в коронці БТК більший, ніж розмір породоруйнівного елемента в коронці СТК, тобто

$$a_2 > a.$$

Відмітимо, що ця схема є поверненим варіантом схеми 1А. Як і в схемі 1А тут будуть наступні співвідношення інших конструктивних параметрів.

$$\Sigma_{\text{БТК}} > \Sigma_{\text{СТК}}; \quad b_1 < b; \quad b_2 < b.$$

Коефіцієнт перекриття знаходиться в діапазоні  $q_{\text{БТК}} = 0,5 \div 1$ .

Варіант 2В (рис. 3). Розмір другого породоруйнівного елемента в коронці БТК менший, ніж розмір породоруйнівного елемента в коронці СТК, тобто

$$a_2 < a.$$

Тоді спостерігатимуться наступні співвідношення інших конструктивних параметрів.

$$\Sigma_{\text{БТК}} < \Sigma_{\text{СТК}}; \quad b_1 > b; \quad b_2 = b.$$

Коефіцієнт перекриття знаходиться в діапазоні  $q_{\text{БТК}} = 0,5 \div 1$ .

Група 3. Розмір першого породоруйнівного елемента в коронці БТК менше розміру породоруйнівного елемента в коронці СТК, тобто

$$a_1 < a.$$

Варіант 3А (рис. 4). Розмір другого породоруйнівного елемента в коронці БТК дорівнює розміру породоруйнівного елемента в коронці СТК, тобто

$$a_2 = a.$$

Ця схема є поверненим варіантом схеми 2В. Таким чином, тут будуть наступні співвідношення інших конструктивних параметрів.

$$\Sigma_{\text{БТК}} < \Sigma_{\text{СТК}}; \quad b_1 > b; \quad b_2 = b.$$

Коефіцієнт перекриття знаходиться в діапазоні  
 $q_{\text{БТК}} = 0,5 \div 1.$

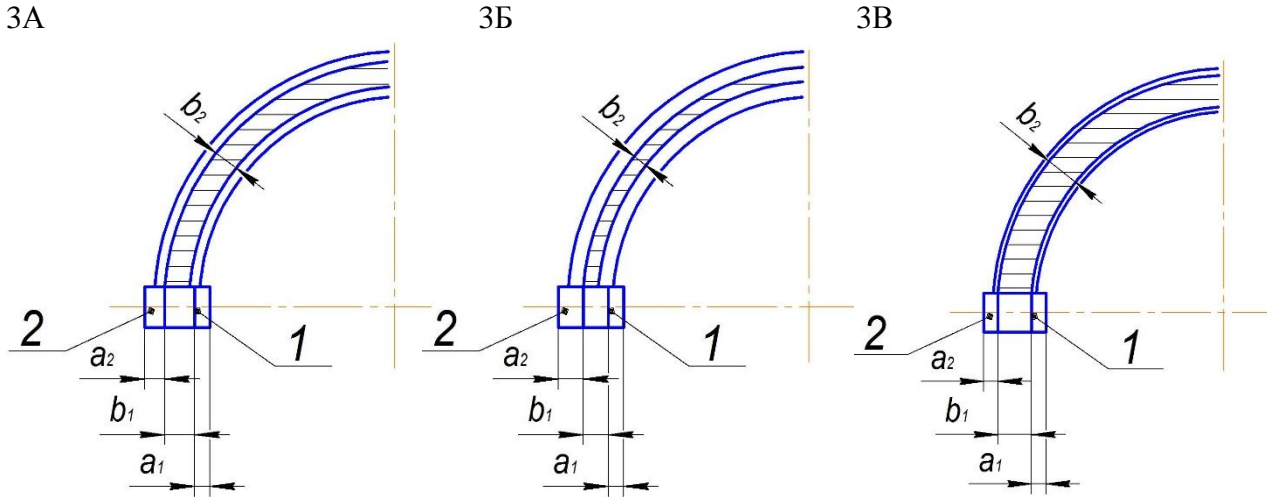


Рис. 4. Схеми 3А, 3Б, 3В розташування твердосплавних різців в коронці БТК

Варіант 3Б (рис. 4). Розмір другого породоруйнівного елемента в коронці БТК більший, ніж розмір породоруйнівного елемента в коронці СТК, тобто

$$a_2 > a.$$

Ця схема є поверненим варіантом схеми 1В. Таким чином, тут будуть наступні співвідношення інших конструктивних параметрів.

$$\Sigma_{\text{БТК}} \geq \Sigma_{\text{СТК}}; \quad b_1 \geq b; \quad b_2 < b.$$

Коефіцієнт перекриття знаходиться в діапазоні  
 $q_{\text{БТК}} = 0,5 \div 1.$

Варіант 3В (рис. 4). Розмір другого породоруйнівного елемента в коронці БТК менший, ніж розмір породоруйнівного елемента в коронці СТК, тобто

$$a_2 < a.$$

Тоді спостерігатимуться наступні співвідношення інших конструктивних параметрів.

$$\Sigma_{\text{БТК}} < \Sigma_{\text{СТК}}; \quad b_1 > b; \quad b_2 > b.$$

Коефіцієнт перекриття знаходиться в діапазоні  
 $q_{\text{БТК}} = 0,5 \div 1.$

У граничному випадку (наведений на рис. 10) коли ширина другого елемента дорівнює ширині першого, тобто

$$a_1 = a_2, \quad \rightarrow \quad q_{\text{БТК}} = 1$$

Проаналізуємо залежність коефіцієнту перекриття від конструктивних параметрів різців твердосплавної коронки БТК. Для цього позначимо відношення ширини меншого до ширини більшого різця коронки

$$k = \frac{a_{\text{min}}}{a_{\text{max}}}. \quad (8)$$

Тоді підставляючи це відношення (8) в формулу (7), після перетворень отримаємо

$$q_{\text{БТК}} = \frac{\Sigma a}{2a_{\text{max}}} = \frac{a_{\text{max}} + ka_{\text{max}}}{2a_{\text{max}}} = 0,5k + 0,5. \quad (9)$$

Таким чином, коефіцієнт перекриття  $q_{\text{БТК}}$  має лінійну залежність від відношення ширини меншого до ширини більшого різця коронки.

Як видно з виразу (9) з точки зору оптимізації конструкції за критерієм коефіцієнту перекриття найбільш ефективними є конструкції з одним елементом на радіусі, розташованим по чергово на зовнішньому і внутрішньому діаметрі.

Наведемо залежність (9) в графічному вигляді (рис.5).

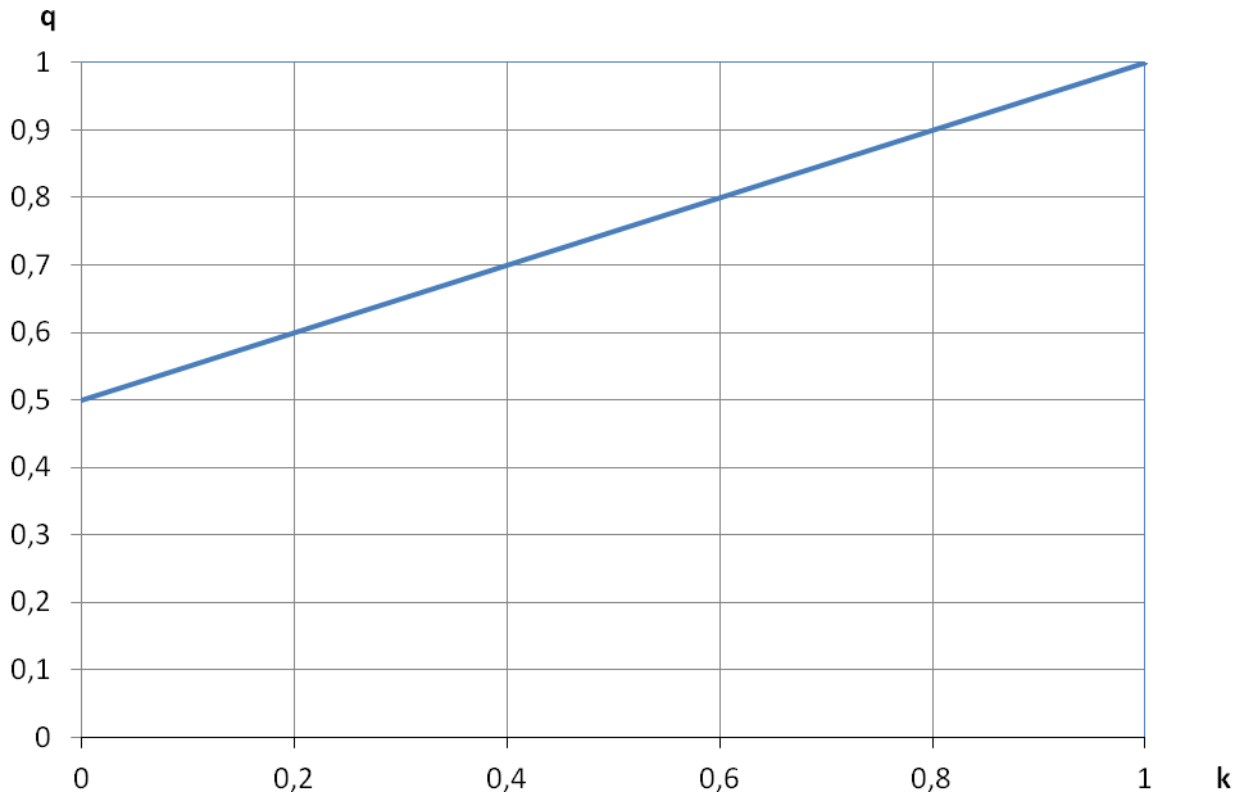


Рис. 5. Залежність коефіцієнту перекриття  $q_{\text{БТК}}$  від конструктивних параметрів коронки

Зведемо отримані результати в таблиці 1.

Для наочності коефіцієнт перекриття наведемо в чисельному вигляді з такими допущеннями:  $a_{\min} = 1$ ,  $a = 2$ ,  $a_{\max} = 3$ .

Таблиця 1

Співвідношення основних конструктивних параметрів в коронці нового покоління БТК

$a_1$	$a_2$	Схема	$\Sigma a$	$b_1$	$b_2$	$q_{\text{БТК}}$	Примітка			
<b>Група 1.</b> $a_1 > a$	А. $a_2 = a$	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 40px;"></td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td></tr></table>	2		3	$\Sigma_{\text{БТК}} > \Sigma_{\text{СТК}}$	$b_1 < b$	$b_2 < b$	$\frac{5}{6}$	нова схема
	2		3							
	Б. $a_2 > a$	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 40px;"></td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td></tr></table>	3		3	$\Sigma_{\text{БТК}} > \Sigma_{\text{СТК}}$	$b_1 < b$	$b_2 < b$	1	нова схема
3		3								
В. $a_2 < a$	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 40px;"></td><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td></tr></table>	1		3	$\Sigma_{\text{БТК}} \geq \Sigma_{\text{СТК}}$	$b_1 \geq b$	$b_2 < b$	$\frac{4}{6}$	нова схема	
1		3								
<b>Група 2.</b> $a_1 = a$	А. $a_2 = a$	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td><td style="width: 40px;"></td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td></tr></table>	2		2	$\Sigma_{\text{БТК}} = \Sigma_{\text{СТК}}$	$b_1 = b$	$b_2 = b$	1	схема СТК
	2		2							
	Б. $a_2 > a$	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">3</td><td style="width: 40px;"></td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td></tr></table>	3		2	$\Sigma_{\text{БТК}} > \Sigma_{\text{СТК}}$	$b_1 < b$	$b_2 < b$	$\frac{5}{6}$	схема 1А
3		2								
В. $a_2 < a$	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; text-align: center;">1</td><td style="width: 40px;"></td><td style="width: 20px; text-align: center;">2</td></tr></table>	1		2	$\Sigma_{\text{БТК}} < \Sigma_{\text{СТК}}$	$b_1 > b$	$b_2 = b$	$\frac{4,5}{6}$	нова схема	
1		2								

Група 3. $a_1 < a$	А. $a_2 = a$	2		1	$\Sigma a_{\text{БТК}} < \Sigma a_{\text{СТК}}$	$b_1 > b$	$b_2 = b$	$\frac{4,5}{6}$	схема 2В
	Б. $a_2 > a$	3		1	$\Sigma a_{\text{БТК}} \geq \Sigma a_{\text{СТК}}$	$b_1 \geq b$	$b_2 < b$	$\frac{4}{6}$	схема 1В
	В. $a_2 < a$	1		1	$\Sigma a_{\text{БТК}} < \Sigma a_{\text{СТК}}$	$b_1 > b$	$b_2 > b$	1	нова схема

### Висновки.

1. На підставі отриманих результатів видно, що усього можливі дев'ять різних варіантів конструктивного виконання коронки БТК. З них:

- один – конструкція коронки СТК, що вже застосовується;
- три – повернені попередні конструкції;
- п'ять – принципово нові конструктивні схем розташування породоруйнівних елементів.

2. У усіх конструктивних схемах, де хоч би один з породоруйнівних елементів в коронці БТК має більший розмір, чим в коронці СТК, ширина неруйнованої частини вибої в коронці БТК менше, ніж в СТК. Завдяки цьому зменшується необхідна дотична напруга для руйнування ціліка гірської породи. Це призводить до підвищення механічної швидкості буріння і проходки на коронку.

3. Коефіцієнт перекриття  $q_{\text{БТК}}$ , який може слугувати як один із критеріїв досконалості конструкції коронки має лінійну залежність від відношення ширини меншого до ширини більшого різця коронки, а саме  $q_{\text{БТК}} = 0,5k + 0,5$ .

### Список літератури

1. Kozhevnykov A.A., et al. The 100th Anniversary of the Establishment of the Carbide: Carbide Bit / International Journal of Chemical Sciences. 2017 Vol: 15(2): 188 // A.A. Kozhevnykov, B.T. Ratov, M.T. Arshidinova, V.L. Khomenko, A.R. Bayboz, V.F. Sabirov.

2. Кожевников А.А., Хоменко В.Л., Байбоз А.Р. Результаты бурения скважин твердосплавными коронками СТК / Геологоразведочное и нефтегазовое дело в XXI веке: технологи, наука, образование. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Алматы, 2016. – С. 100-104.

3. Ратов и др. Буровая коронка. Пат. 32712 Республика Казахстан. МПК E21B 10/58 (2006.01). Заявл. 07.09.2016. Оpubл. 19.03.2018; Бюл. № 11. // Ратов Б.Т., Кожевников А.А., Байбоз А.Р., Хоменко В.Л., Утепов З.Г., Тулепбергенов А.Т., Коргасбеков Д.Р.

4. Твердосплавный породоразрушающий инструмент нового типа. Кожевников А.А., Бесимбаев Е.Т., Ратов Б.Т., Хоменко В.Л., Байбоз А.Р. / Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. научных трудов. – Вып. 19. – Киев: ИСМ им В.Н.Бакуля НАН Украины, 2016. – С. 50-55.

5. Анализ конструктивных схем твердосплавной буровой коронки нового поколения. Ратов Б.Т., Кожевников А.А., Тулепбергенов А.Т., Байбоз А.Р. / Горный журнал Казахстана № 2, 2018. – С. 34-37.