

УДК 622.235

О.В. ШАПУРІН, д-р техн. наук, проф., П. М. СИНІЧИЧ, магістрант
Криворізький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ КОМБІНОВАНОГО БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН З УТВОРЕННЯМ КОТЛОВИН ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРУ

Наведено аналіз наукових досліджень щодо комбінованої технології оббурювання уступів у кар'єрі і аналіз практичного застосування такої технології. Встановлена закономірність зміни собівартості вибухової відбійки залізистих кварцитів Південного ГЗК у вигляді суми собівартостей основних процесів, а саме: механічного буріння піонерної свердловини, її термічного розширення, заряджання, з урахуванням видатку коштів на засоби ініціювання і вибухові речовини. Встановлено існування лінійної закономірності між радіусом піонерної свердловини і радіусом котлової порожнини. Проведено дослідження варіантів проходки піонерної свердловини діаметрами від 0,152 м до 0,203 м за допомогою верстата Roc L-8 фірми Atlas Copco з подальшим їх термічним розширенням під заряд.

При цьому кожному діаметру піонерної свердловини відповідає (із позицій економічної доцільності) свій оптимальний розмір котлового розширення. Так, для діаметра піонерної свердловини 171 м оптимальним є діаметр котла 0,32 м. Досліджено утворення котлових розширень для відомої технології з проходкою піонерної свердловини шарошковим долотом. Виявлено, що на відміну від застосовуваного діаметра котла 0,36 м, більш оптимальним у цьому випадку буде діаметр 0,4 м.

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними знаннями. Надвисокою міцністю, що приводить до великої собівартості бурових і вибухових робіт, подальших процесів гірничого виробництва та ініціює пошук шляхів для здешевлення виробничих процесів. Одночасно слід згадати, що дуже міцні породи стають крихкими під впливом термічних напруг. Практика термічного буріння свердловин з подальшим їх термічним розширенням показала ефективність руйнування гірських порід. Але існує більш досконала комбінована технологія проходки свердловин, за якої спочатку утворюється піонерна свердловина механічним способом (за допомогою шарошкового долота діаметром 243 або ж 244,5 мм, з покрівлі уступу вниз), із подальшим утворенням котлового розширення в ній знизу вгору і з подальшою продувкою і очищенням котла від бурового шламу термічним способом. Ця технологія використовується для здешевлення робіт і підвищення їх продуктивності. Як бачимо, труднощі, пов'язані з високою міцністю гірських порід, існують не тільки при утворенні свердловин у залізистих кварцитах, а й при переробці руди та її збагаченні. Виявляється, проблема надвисокої міцності залізистих кварцитів існує на всіх етапах видобутку й переробки. В останньому випадку ми маємо різне розкриття мінеральних зерен корисного компонента, що ускладнює формування із них кінцевого продукту. Пошуку шляхів оптимізації цих ситуацій на етапі буровибухових робіт присвячена ця стаття.

Аналіз досліджень і публікацій. Комплексні роботи щодо дослідження впливу вибуху на технологічні властивості залізистих кварцитів КМА були виконані під керівництвом докт. техн. наук, проф., Н.Я. Рєпіна [1-4]. Дослідження показали, що внаслідок дії вибухових навантажень мікротвердість зерен магнетиту залишається практично на тому ж рівні. Мікротвердість і крихкість зерен кварцу істотно зростають. У результаті питома робота руйнування кварцу знижується, а для більш пластичних зерен магнетиту вона зростає. Встановлені зміни механічних характеристик мінералів обумовлюють вибірковості подрібнення руд у млинах, при цьому рудні зерна мають більший опір до збагачення та відбувається більш інтенсивне руйнування кварцу.

Унаслідок порушення мікроструктури породи суттєво знижується міцність кварцитів на одноосовий стиск. У результаті розвитку мікроефектів структури та зміни механічних властивостей мінералів вихід вільних зерен магнетиту в концентраті досягає 81-85 %, проти 66 % у зразках контрольної партії. Одночасно в готовому продукті скорочується кількість зростків. Вихід концентрату класу -50 мкм збільшується на 2,5-4,5 % і досягає 96 %.

У роботі [5] розглянуто дію вибуху свердлового заряду в крихкому середовищі з урахуванням вильоту набійки і витоку газоподібних продуктів детонації. Математична модель руйнування такого середовища складається з хвильового рівняння і системи звичайних диференціальних рівнянь, які вирішуються цифровими методами. Таким чином, основні науково-технічні проблеми управління рівнем знеміцнення і дроблення гірських порід у кар'єрах, виходячи з фі-

зичних передумов, можуть бути вирішені за рахунок перерозподілу в часі й просторі енергії вибуху шляхом оптимізації форми імпульсу тиску на стінки свердловини.

Враховуючи, що амплітуда імпульсу тиску, чи інакше максимальний тиск газоподібних продуктів детонації для різних ВР, мають однаковий порядок, рівний приблизно 10^9 Па і його збільшення приводить до різкого зростання дисипації енергії, то фактор часу дії на середовище є одним з основних [6]. У роботах [6-9] розглянуто вплив параметрів процесів, що визначають форму і тривалість імпульсу тиску. На основі обробки дослідних даних встановлено, що в процесі детонації ВР тиск у зарядній порожнині збільшується практично лінійно аж до деякого максимального значення, а потім знижується практично за експоненціальним законом [10]. Результати експериментальних досліджень багатьох авторів підтверджують експоненціальний закон падіння тиску газів на даному етапі. Тривалість цього етапу також є одним із основних факторів, що визначають форму вибухового імпульсу тиску на масив.

Експериментальні дослідження термічного руйнування гірських порід показали, що породи поділяються на добре і погано термобуримі. Для погано термобуримих гірських порід характерний мимовільний перехід у режим плавлення, проте навіть такі породи ефективно руйнуються при термічному розширенні пройдених механічним способом у них свердловин [11]. Встановлено, що об'ємна швидкість руйнування при термічному бурінні в 5-8 разів менша, ніж при розширенні свердловин [12]. При цьому термобуримість порід досить обґрунтовано визначається температурою T_p поверхні в момент термічного руйнування.

У роботах [13,14] наведено результати прямого вимірювання температури T_p для різних типів порід. Для залізистих кварцитів $T_p=393-433$ К, для кварцу - 503-523 К.

У дослідженні [15] на підставі проведених вимірювань зроблено висновок про те, що значення T_p знаходиться в межах 345-563 К.

Постановка завдання. Процес формування імпульсу тиску визначає поле напруг у масиві гірських порід і його розвиток у часі (динамічне поле напруг).

Форма імпульсу тиску (залежність величини тиску в свердловині від часу) визначається двома процесами при відсутності набійки: детонацією ВР і витокком газоподібних продуктів вибуху через гирло свердловини.

Якщо детонація ВР вивчена в достатній мірі, то процес витікання газів із свердловини практично не розглядався з позиції зміни тиску в свердловині. Утворення свердловини з котловою порожниною заданого профілю в її нижній частині можливо комбінованим способом, при якому піонерні свердловини буряться механічними верстатами, а потім розширюються верстатами вогневого буріння. Однак, термічне розширення піонерних свердловин застосовується за умови максимального збільшення діаметру котлової порожнини для термоінструментів заданої потужності.

Отже, відсутність обґрунтованих теоретичних і експериментальних закономірностей термічного розширення свердловин до заданого профілю залежно від властивостей порід і теплоносія, а також досліджень щодо оптимізації параметрів котлових порожнин у зв'язку з діаметром піонерної свердловини на основі мінімізації економічних показників, перешкоджають розробці ресурсозберігаючої технології вибухової відбійки гірських порід у кар'єрах. У зв'язку з викладеним необхідно вирішити наступні завдання:

встановити закономірності зміни собівартості вибухової відбійки порід за умов комбінованої технології утворення свердловин з котловою порожниною під заряд;

розробити рекомендації щодо комбінованої технології утворення свердловин з котловими розширеннями заданої форми і розміру з застосуванням верстатів механічного та термічного буріння;

знайти економічно оптимальні співвідношення між діаметром піонерної свердловини та діаметром котлової порожнини.

Викладення матеріалів дослідження. Пропонується комбіноване утворення вибухових свердловин за наступною програмою:

Утворення піонерних свердловин різних діаметрів (від 0,152 до 0,203 м) за допомогою верстата Ros L-8, а також діаметром 0,254 м за допомогою верстата СБШ-250 МН.

Утворення в них котловин під заряд із фіксацією швидкості підйому пальника знизу вверху і відповідно діаметрів отриманих котловин і витрат пального.

Розрахунок параметрів розташування свердловин на уступі відповідно до отриманих значень діаметрів котловин.

Виконання експериментальних вибухових робіт.

Техніко-економічний аналіз виконаних робіт із формуванням висновків і рекомендацій.

Визначити оптимальні діаметри піонерної свердловини і котлової порожнини необхідно в результаті техніко-економічного аналізу всіх складових: буріння піонерної свердловини, утворення котлової порожнини оптимального діаметру, процесу зарядних робіт, вартості ВР і засобів ініціювання, монтажу вибухової мережі. Складова собівартості буріння піонерної свердловини зменшуватиметься за рахунок збільшення сітки розташування свердловин і зменшення обсягу механічного буріння свердловини, що припадає на 1 м^3 гірських порід, підготовлених до підривання. В той же час складова термічного розширення зростатиме. Таким чином, загальна собівартість відбійки залістистих кварцитів визначатиметься за виразом (1), що зручно і якісно ілюструється за допомогою залежностей, представлених на рис. 1

$$C_{\text{від}} = C_B + C_T + C_{3I} + C_3 + C_{BP}, \text{ грн./м}^3, \quad (1)$$

де $C_B, C_T, C_{3I}, C_3, C_{BP}$ - собівартості, відповідно: механічного буріння, термічного розширення, засобів ініціювання разом із монтажем вибухової мережі, заряджання свердловин, вартості вибухової речовини, грн./м^3 .

Спільне рішення (аналітичне або графічне) рівнянь $C_B=f(d_K); C_T=f(d_K); C_{3I}=f(d_K); C_3=f(d_K); C_{BP}=f(d_K)$, представлених на рис. 1, дозволить отримати залежність собівартості відбійки 1 м^3 масиву ($C_{\text{від}}$, грн./м^3) як функцію зазначених аргументів і визначити оптимальний діаметр котлової порожнини d_K (при заданому діаметрі піонерної свердловини d_c), при якому собівартість відбійки буде мінімальна.

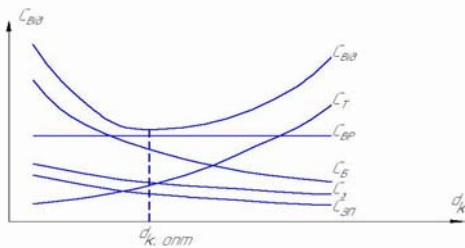


Рис. 1. Собівартість відбійки залістистих кварцитів

Мінімізацію величини $C_{\text{від}}$ будемо виконувати методом пошуку екстремуму, але з урахуванням нелінійності її складових частин.

Собівартість на буріння піонерних свердловин можна визначити за формулою

$$C_{B.I} = \frac{6q}{\pi d_K^2 \rho} \cdot \frac{\mathcal{E}_B}{v_{\text{пр.165}}} \cdot \left(\frac{\delta_{c.жк165}}{\delta_{c.165}} \right)^2 \cdot \left(\frac{d_{c.I}}{d_{c.165}} \right)^2 = \frac{6q}{\pi(0,165)^2 \rho} \cdot \frac{\mathcal{E}_B}{v_{\text{пр.165}}} \cdot \left(\frac{\delta_{c.жк165}}{\delta_{c.165}} \right)^2 \cdot \left(\frac{d_{c.I}}{d_K} \right)^2, \quad (2)$$

де q - питома витрата ВР, кг/м^2 (для Півд ГЗК = $1,1\text{ кг/м}^2$ при щільності ВР $p = 1264\text{ кг/м}^3$; \mathcal{E}_B - витрати на буріння в одиницю часу, гр/с ; $v_{\text{пр.165}}$ - експлуатаційна швидкість буріння свердловин діаметром $d_c=0,165\text{ м}$ в породах з межею міцності на стиснення $\delta_{c.165}=180 \cdot 10^6\text{ Па}$; $v_{\text{пржк165}}$ - очікувана практична швидкість буріння свердловин такого ж діаметру в залістистих кварцитах з межею міцності на стиснення рівним $\delta_{c.165}=200 \cdot 10^6\text{ Па}$.

З урахуванням даних для ПівдГЗК маємо

$$C_{B.I} = \frac{6 \cdot 1,1}{\pi(0,165)^2 \cdot 1200} \cdot \frac{1910}{10} \cdot \left(\frac{200 \cdot 10^6}{180 \cdot 10^6} \right)^2 \cdot \left(\frac{d_{c.I}}{d_K} \right)^2 = 15 \cdot \left(\frac{d_{c.I}}{d_K} \right)^2. \quad (3)$$

На рис. 2 наведено графіки залежності собівартості буріння піонерних свердловин різного діаметру від радіуса котлової порожнини, отримані на підставі формули (3). Криві 1,2,3 та 4 відповідають d_c , рівним 0,152; 0,156; 0,159 і 0,165 м.

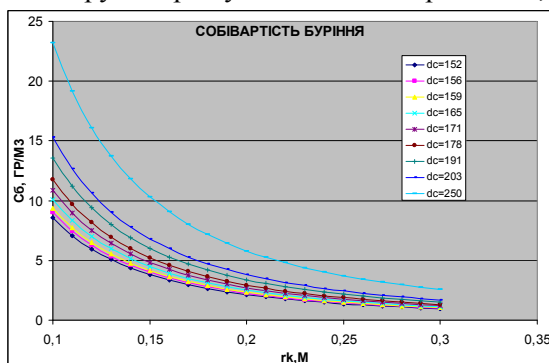


Рис. 2. Собівартість механічного буріння

Складову собівартості термічного розширення свердловин C_T , (грн./м^3) на 1 м^3 відбитої гірничої маси можна визначити за формулою

$$C_T = \frac{H_K}{571 \cdot d_K^2 \cdot H_C \cdot v_{II}} \cdot \left(2300 \cdot \frac{G_{r.I}}{G_{250}} + 35 \right), \quad (4)$$

де H_K - висота котлової порожнини свердловини,

що заряджається, м; $H_K = \frac{2}{3} H_Y$; H_C - висота свердловини з урахуванням перебуру, м; $G_{r,i}$ - витрата пального в пальнику при розширенні свердловин з піонерним діаметром d_{ci} кг/год.; G_{250} - витрата пального в пальнику при розширенні свердловин діаметром $d_c = 0,25$ м; v_n - швидкість підйому пальника при термічному розширенні свердловин, м/год.

Скористаємося формулою (22) у такому вигляді, як її використовують А.В. Дугарциренов та А.А. Фурсов [9,с.66]

$$f(r_K, r_C) \equiv f1(r_K) = r_C^{0,8} (r_K - r_C)^2 + \frac{0,146667(r_K - r_C)^3}{r_C^{0,2}} \quad (5)$$

Оскільки згідно з рівнянням (42) [9, с. 69] і виразом (5) маємо

$$v_{II} = \frac{H_T}{t} = \frac{\xi^* \cdot H_T}{f(r_K, r_C)},$$

тоді, підставляючи цей вираз в (4) та враховуючи, що $H_K/H_C = 0,625$, а також співвідношення (21) [9,с.65], отримаємо

$$C_T = \frac{0,625 f(r_K, r_C)}{571 \cdot 4r_C^2 \cdot H_T \cdot 2,64888 \cdot 10^{-6} \cdot G_{Ti}^{0,8}} \cdot \left(2300 \cdot \frac{G_{r,i}}{G_{250}} + 35 \right), \quad (6)$$

де G_{mi} - витрата палива («ДП - повітря») в пальнику, виражений в л/с, підставляючи $C_{250} = 68$ л/год в (6), знаходимо

$$C_T = \frac{28,696 \cdot 10^{-3} \cdot f(r_K, r_C)}{r_C^2 \cdot H_T \cdot G_{Ti}^{0,8}} \cdot (7755,7 G_{r,i} + 35). \quad (7)$$

Як бачимо з рис. 3, собівартість термічного розширення свердловин в розрахунку на 1 м³ відбитої гірничої маси монотонно зростає із збільшенням діаметра котлової порожнини. Відзначимо, що графіки залежностей $C_T(r_K)$ з меншими значеннями r_C при однакових r_K , розташовуються вище.

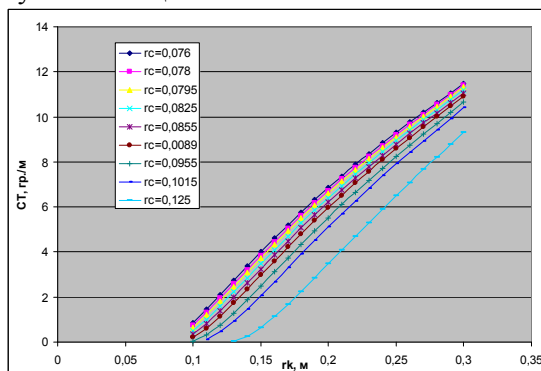


Рис. 3. Залежність собівартості термічного розширення свердловин

Це природно, оскільки при малих r_C потрібно більше часу на створення котлової порожнини радіуса r_K і відповідно витрачається більша кількість пального та стисненого повітря, що призводить до зростання собівартості термічного розширення.

Складова собівартості заряджання свердловин складається з двох частин: перша обумовлена власне заряджанням свердловин, друга - переїздом зарядної машини від свердловини до свердловини.

Собівартість заряджання свердловин можна розрахувати за формулою

$$C_{3,3} = \frac{\partial_3 q}{\rho v_3} = \frac{\pi \partial_3}{3426 v_3} = 0,917 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\partial_3}{v_3}, \quad (8)$$

де ∂_3 - вартість машино-години роботи зарядної машини, $\partial_3 = 1852,8$ грн./рік; v_3 - об'ємна швидкість заряджання емульсивним ВР, $v_3 = 3$ м/год.

Собівартість заряджання, обумовлену переїздами, можна розрахувати за формулою

$$C_{3,II} = \tau_N \cdot \frac{\partial_3}{V_B} = \frac{\partial_3}{v_d} \left(\frac{1}{a H_Y} - \frac{a}{V_B} \right), \quad (9)$$

де V_B - об'єм блока, який підлягає обурюванню.

Враховуючи, що $a = (1,4 - 0,075 \cdot \ln f) d_R \cdot \sqrt[4]{\rho Q / f} = 24,96 d_K$ вираз (9) перетворимо до виду

$$C_{3,II} = \tau_N \cdot \frac{\partial_3}{V_B} = \frac{\partial_3}{v_d} \left(\frac{1}{23,89 d_K \cdot H_Y} - \frac{24,96 d_K}{V_B} \right) \quad (10)$$

Отже, загальна складова собівартості заряджання свердловин в перерахунку на 1 м³ відбитої гірської маси залежно від d_K згідно (8) і (10) дорівнюватиме

$$C_3 = C_{3,3} + C_{3,П} = 0,917 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\mathcal{E}_3}{v_3} + \frac{\mathcal{E}_3}{v_D} \left(\frac{1}{23,89 d_K \cdot H_Y} - \frac{24,96 \cdot d_K}{V_B} \right) =$$

$$= 0,59874 + 185,28 \left(\frac{1}{716,7 r_K} - 0,001664 r_K \right). \quad (11)$$

Розрахункова залежність $C_3(r_K)$ у графічному вигляді наведена на рис. 4.

Складова собівартості заряджання, як випливає з рис. 4, порівняно невелика і зі збільшенням радіуса котлової порожнини практично не змінюється.

З урахуванням цього, прийmemo величину C_3 постійною і рівною $C_3 = 0,61$ грн./м³.

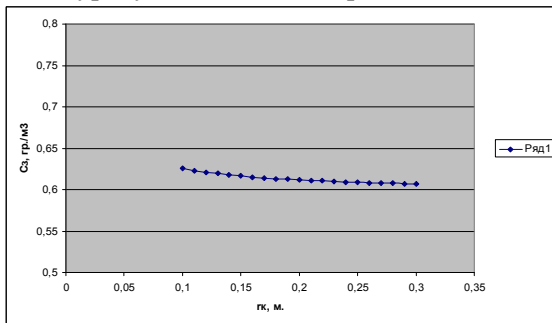


Рис. 4. Залежність собівартості заряджання

Складову собівартості засобів ініціювання підривання, можна розрахувати за формулою

$$C_{CI} = \frac{(C_B + C_{BC}) \cdot 2 + C_{ВП}}{571 d_K^2 H_C} = \frac{(C_B + C_{BC}) \cdot 2 + C_{ВП}}{2284 r_K^2 H_C}. \quad (12)$$

де C_B - вартість одного бойовика, C_{BC} - вартість одного волова свердловинного, $C_{ВП}$ - вартість одного волова поверхневого.

Складову собівартості C_{CI} , обумовлену витратою засобів ініціювання підривання залежно від діаметру котлової порожнини d_K , графічно зображено на рис. 5.

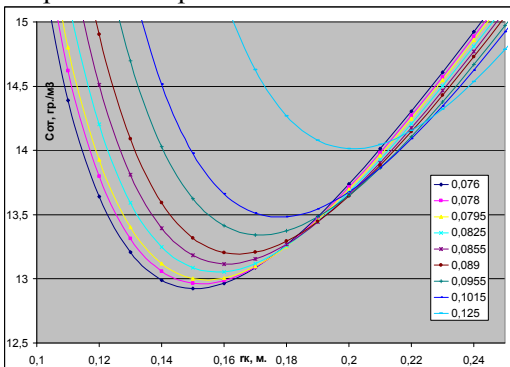


Рис. 5. Залежність собівартості вибухової відбійки залістистих кварцитів ПівдГЗК

Питома витрата ВР незалежно від діаметра d_K котлових порожнин повинна бути строго дотриманою для кожного ГЗК залежно від міцності породи.

Для ПівдГЗК $q = 1,1$ кг/м³. Ціна емульсійних ВР, що застосовуються на ПівдГЗК, дорівнює $C_{ВР} = 3,35$ грн./кг. З урахуванням цього складова собівартості відбійки залістистих кварцитів на ПівдГЗК, обумовлена витратою ВР, буде дорівнювати, грн./м³

$$C_{BP} = q C_{ВР} = 1,1 \cdot 3,35 = 3,685. \quad (13)$$

Висновки та напрямки подальших досліджень. Собівартість вибухової відбійки залістистих кварцитів ПівдГЗК, виходячи з викладеного вище, може бути представлена у вигляді

$$C_{ввид} = C_B + C_T + C_3 + C_{3i} + C_{BP} = 15 \cdot \left(\frac{d_{c,i}}{d_K} \right)^2 + \frac{28,097 \cdot 10^{-3} \cdot f(r_K, r_c)}{r_c^2 \cdot H_T \cdot G_{Ti}^{0,8}} \cdot (7755,7 G_{r,i} + 35) +$$

$$+ 0,59874 + 185,28 \left(\frac{1}{716,7 \cdot r_K} - 0,001664 \cdot r_K \right) + \frac{0,0185}{r_K^2} + 3,685. \quad (14)$$

Функція $f(r_K, r_c)$ в цьому виразі визначається співвідношенням (5) у вигляді полінома третього ступеня, коефіцієнти якого залежать тільки від радіуса піонерної свердловини r_c .

Аналіз графіка показує, що мінімум собівартості для кожного діаметра піонерної свердловини досягається при відносно невеликому збільшенні діаметра свердловини в частині, що заряджається, в порівнянні з його початковим діаметром.

Обчислено економічний ефект E_r при переході від застосованої на ПівдГЗК вибухової відбійки з бурінням свердловин діаметром 0,250 м (верстатами СБШ-250) і подальшим термічним розширенням її частини, що заряджають, до діаметра 0,36 м до комбінованої технології з бурінням піонерних свер-

дловин діаметром 0,171 м (верстатами Roc L-8 фірми Atlas copco) і подальшим термічним розширенням її частини, що заряджають, до діаметра 0,32 м. Собівартість обурювання для першого варіанту дорівнює $C_{OT250} = 14,27$ гр/м³, а для другого $C_{OT0,171} = 13,11$ гр/м³. Прийmemo річний обсяг видобутку залістистих кварцитів рівним 6,5 млн. м³/рік, Тоді маємо, млн грн./рік

$$C_r = (14,27 - 13,11) \cdot 6500000 = 7540000 = 7,54.$$

Виконавши вибірку співвідношення оптимальних значень радіусів, складемо табл. 1. Дані таблиці зобразимо графіком (рис. 6).

r_c	r_k
0,076	0,15
0,078	0,15
0,0795	0,16
0,0825	0,16
0,0855	0,16
0,089	0,17
0,0955	0,17
0,1015	0,18
0,125	0,2

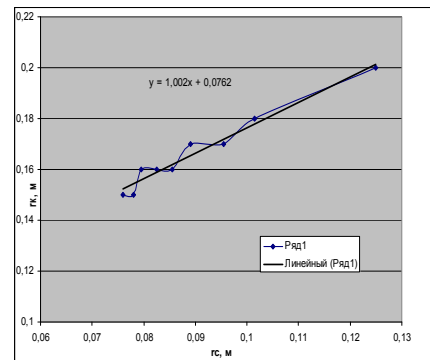


Рис. 6. Залежність собівартість вибухової відбійки залістистих кварцитів ПівдГЗК

Відзначимо лінійну лінію тренду наведеної закономірності

$$r_k = 1,002r_c + 0,0762. \quad (15)$$

Наведену лінійну закономірність (15) можна вважати такою, яка реалістично показує закономірність між радіусом піонерної r_c свердловини і радіусом котлової порожнини r_k .

Отже, використання комбінованого способу обурення уступів економічно вигідно та показує його ефективність та зручність в обчисленні оптимальних співвідношень діаметрів піонерних свердловин та діаметрів котлових порожнин в них.

Список літератури

1. Влияние взрывного нагружения на физические и технологические характеристики кварцитов / **Н. Я. Репин, А. М. Потапов, В. А. Зрайченко** и др. Изв. ВУЗов Горный журнал, 1984. - №2. - С.47-51.
2. Влияние режимов взрывного нагружения на обогатимость железистых кварцитов / **Н. Я. Репин, А. И. Потапов, М. Б. Редькин** и др. Комплексное использование минерального сырья, 1983. - №11. - С. 8-11.
3. Влияние интенсивности взрывного нагружения на показатели обогащения железистых кварцитов / **Н. Я. Репин, В. И. Томаков, М. Б. Редькин** и др. Геология и особенности технологии разработки железорудных месторождений КМА. – Воронеж, 1983. - С 52-58.
4. Промышленные исследования влияния параметров взрывной отбойки на показатели добычи и рудоподготовки железистых кварцитов / **Н. Я. Репин, В. И. Томаков, А. И. Потапов** и др. Комплексное использование минерального сырья, 1985. - №12. - С. 17-21.
5. **Александрова Н.И., Шер Е. Н.** Влияние забойки на разрушение горных пород взрывом цилиндрического заряда. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1999. - №5. - С. 42-52.
6. **Гончаров С. А., Дугарцыренов А. В., Клюка О. Ф., Веревошкин И. Е.** Этапы формирования импульса давления и свободное истечение продуктов детонации при взрыве скважинных зарядов. Изд-во МГТУ, Горный информационно-аналитический бюллетень, 2001. - №10. - С. 30-34.
7. **Гончаров С. А., Дугарцыренов А. В., Клюка О. Ф., Веревошкин И. Е.** Этапы формирования импульса давления и свободное истечение продуктов детонации при взрыве скважинных зарядов. Изд-во МГТУ, Горный информационно-аналитический бюллетень, 2001. - №10. - С. 30-34.
8. **Дугарцыренов А. В.** Свободное истечение продуктов детонации при взрыве скважинных зарядов. Горный информационно-аналитический бюллетень, 2003. - №2. - С. 83-86.
9. **Дугарцыренов А. В., Фурсов А. А.** Закономерности термического расширения взрывных скважин на карьерах. Горный информационно-аналитический бюллетень, 2004. - №2. - С. 61-69.
10. **Кочетков П. А.** Управление разрушением горных пород при буровзрывных работах. Днепропетровск, Изд-во «Пороги», 1993. - 108 с.
11. **Дмитриев А. П., Гончаров С. А.** Термическое и комбинированное разрушение горных пород. - М.:Недра, 1978. – 304 с.
12. **Великий М. И., Черконос А. И., Вайман С. З.** Техника бурения скважин комбинированными способами. – М.: Недра, 1977. - 110 с.
13. **Кузьяев Л. С., Протасов Ю. И.** Измерение температуры поверхности забоя при термобурении. Инженерно-физический журнал, 1964. - т.7. - №9, С.10-13.
14. **Шишкин Ю. Б.** Исследование процесса термического разрушения неоднородных по тепловым свойствам горных пород. – Дисс. ... канд. техн. наук. - М., 1970. - 201 с.
15. **Бергман Э. Д., Покровский Г. Н.** Термическое разрушение горных пород плазмобурами. –Новосибирск, Наука, 1971. – 128 с.

Рукопис подано до редакції 26.02.15