

УДК 622.28.04

## Оптимізація параметрів металевого рамного піддатливого кріплення

Наведено результати аналітичних розрахунків оптимізації параметрів металевого рамного піддатливого кріплення. Отримано рівняння для визначення радіусів кривизни верхняка і стояка рами металевого рамного піддатливого кріплення. Розраховано радіуси кривизни верхняка і стояка та побудовано форми площі поперечно-го перерізу виробок залежно від коефіцієнта бічного розпору.

**Ключові слова:** несуча здатність, рамне кріплення, коефіцієнт бічного розпору.

**Контактна інформація:** prokudin.o.z@nmu.one

Під час проектування гірничих виробок різного призначення передбачають інженерні заходи, що забезпечують їх надійну експлуатацію протягом тривалого часу. Ці заходи полягають у штучному зміцненні гірських порід, які вміщують виробки, або зведення будівельних конструкцій (кріплення), що безпосередньо сприймають навантаження з боку породного масиву.

Однією з характерних особливостей сучасного шахтного будівництва є значне ускладнення гірничо-геологічних умов. Тому успішне вирішення завдань, пов'язаних із забезпеченням експлуатаційної надійності гірничих виробок, багато в чому залежить від ступеня досконалості методів розрахунку різних підземних інженерних конструкцій.

Зниження витрат на підтримку гірничих виробок можна досягти, дотримуючись комплексу правил: надання виробці форми, найдоцільнішої для наявних гірничо-геологічних умов; вибір раціональних способів охорони виробок; застосування кріплення відповідного типу і несучої здатності [1].

У роботах [1–3] наведено раціональні форми виробок залежно від гірничо-геологічних умов і стану бічних порід з урахуванням матеріалу кріплення і методики їх розрахунку. При остаточному виборі форми виробки варто враховувати вимоги технологічності конструкції, експлуатаційні вимоги і питання економіки. Вивченню та розробці раціональних форм і розмірів металевого рамного кріплення на основі оптимізації радіусів криволінійних частин кріплення присвячено роботи [4–6]. Однак використання в шахтах металевого рамного кріплення стандартних і нових форм недостатнє для безремонтної підтримки виробок.

**Мета дослідження** – визначення раціональних значень радіусів кривизни верхняка і стояків для вибору раціональної форми металевого рамного піддатливого кріплення в різних гірничо-геологічних умовах шахт ДТЕК.



**Р. М. ТЕРЕЦУК,**  
канд. техн. наук  
(Національний гірничий університет)



**О. З. ПРОКУДІН,**  
наук. співробітник  
(Національний гірничий університет)



**О. В. ТЕРЕЦУК,**  
наук. співробітник  
(Національний гірничий університет)

**Матеріал і результати дослідження.** Розрахунок сталевих конструкцій рамного кріплення виконували на зовнішнє навантаження. Конструкцію піддатливого рамного кріплення розглядали як двохшарнірну арку. Тиск бічних порід на кріплення – вертикальне й бічне навантаження, приймали рівномірно розподіленим (рис. 1).

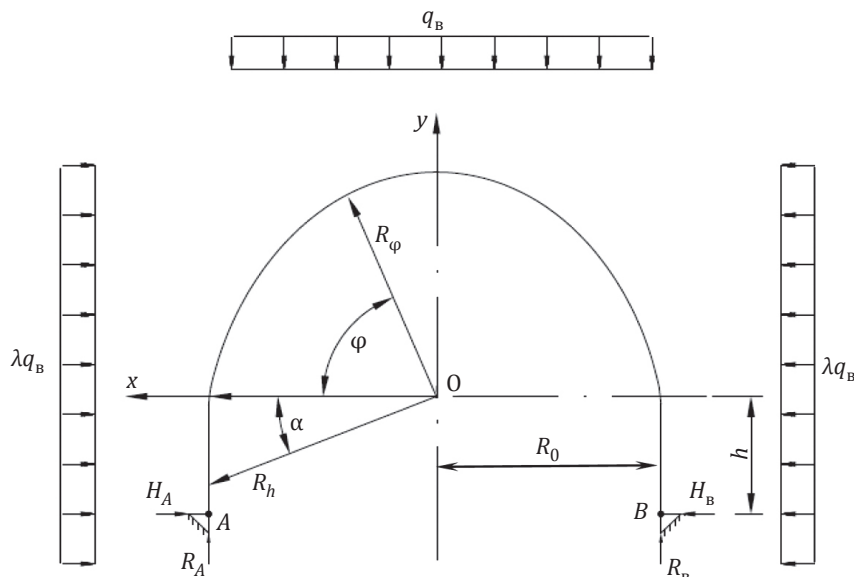


Рис. 1. Розрахункова схема до вирішення задачі визначення раціональної форми рамного кріплення.

У цій роботі вирішували задачу удосконалення металевого аркового піддатливого кріплення. У результаті введення нових конструктивних параметрів форми, що забезпечують підвищення несучої здатності кріплення в різних гірничо-геологічних умовах і спрощення побудови контуру рами, можна досягти зниження собівартості видобутку корисних копалин,

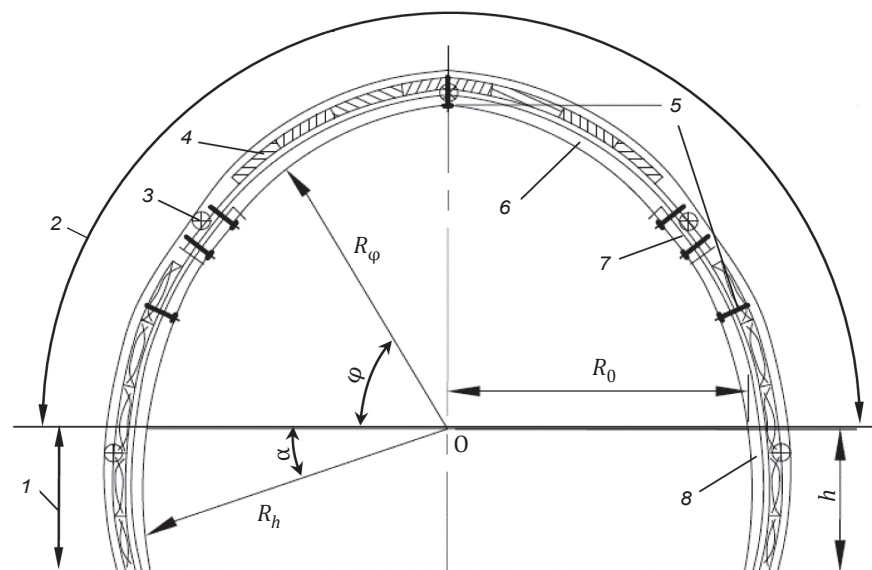


Рис. 2. Загальний вигляд металевого аркового піддатливого кріплення: 1 – нижня частина стояка; 2 – склепіння; 3 – розпірки; 4 – затяжка; 5 – міжрамні стягування; 6 – верхняк; 7 – замкове з'єднання (вузол піддатливості); 8 – стояк.

поліпшення техніки безпеки ведення гірничих робіт і зниження витрат на ремонтні роботи.

Задачу вирішували таким чином. Для металевого аркового піддатливого кріплення (рис. 2), до якого входять з'єднані між собою рами, виготовлені з металевого шахтного спецпрофілю (кожна криволінійної форми, складена з верхняка і стояків, з'єднаних вузлами піддатливості, утвореними зв'язаними їх кінцевими частинами внапусток і скріпленими між собою замками), визначали форму верхняка і стояків рами, окреслених перемінними радіусами кривизни  $R_\phi$  та  $R_h$ . Радіуси кривизни визначали окремо для склепіння і стояків.

Для склепіння спочатку задавали (відповідно до гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов) значення вертикального навантаження, коефіцієнта бічного розпору, початкового радіуса склепіння виробки та нижньої частини стояка. За умови, що згинальний момент  $M_\phi = 0$ , конструкція має найбільшу стійкість, тобто:

$$M_\phi = -R_A(R_0 - R_\phi \cos \phi) + H_A(h + R_\phi \sin \phi) + \lambda q_B [(h + R_\phi \sin \phi)^2 / 2] + q_B [(R_0 - R_\phi \cos \phi)^2 / 2] = 0, \quad (1)$$

де  $H_A$  – опорна горизонтальна реакція у шарнірі,

$$H_A = -[(\int_0^{\pi/2} M_1 M_p d\phi) / (\int_0^{\pi/2} M_1^2 d\phi)];$$

$M_1$  – згинальний момент від одиноїчної сили,

$$M_1 = -(h + R_\phi \sin \phi);$$

$M_p$  – згинальний момент від зовнішнього навантаження,

$$M_p = R_A(R_0 - R_\phi \cos \phi) - q_B [(R_0 - R_\phi \cos \phi)^2 / 2] - \lambda q_B [(h + R_\phi \sin \phi)^2 / 2];$$

$R_A$  – опорна вертикальна реакція у шарнірі,  $q_B R_0$ ;  
 $q_B$  – вертикальне навантаження;  
 $\lambda$  – коефіцієнт бічного розпору;  
 $R_0$  – початковий радіус склепіння виробки;  
 $h$  – нижня частина стояка;  
 $\varphi$  – кут між горизонталлю та радіусом для склепіння.

Підставивши у формулу (1) всі значення та виконавши необхідні математичні розрахунки, одержуємо рівняння для визначення радіуса кривизни склепіння

$$aR_\varphi^4 + bR_\varphi^3 + cR_\varphi^2 + dR_\varphi + e = 0, \quad (2)$$

де  $a, b, c, d, e$  – коефіцієнти рівняння,

$$\begin{aligned} a &= 3\lambda\pi\sin^2\varphi + 3\lambda\pi\cos^2\varphi; \\ b &= 6h\lambda\pi\sin\varphi + 24h\lambda\sin^2\varphi + 24h\cos^2\varphi - 4 - 8\lambda; \\ c &= -3R_0\pi + 3h^2\lambda\pi + 48h^2\lambda\sin\varphi + 6h^2\lambda\pi\sin^2\varphi + \\ &\quad + 6h^2\pi\cos^2\varphi - 3h\pi - 18h\lambda\pi; \\ d &= -24R_0h + 24h^3\lambda + 12h^3\lambda\pi\sin\varphi - 36h^2\lambda + 12R_0^2; \\ e &= -(6R_0^2h^2\pi) + 6h^4\lambda\pi + 6R_0^2h\pi - 6h^3\lambda\pi. \end{aligned}$$

Відповідно до гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов для нижньої частини стояка задавали значення вертикального навантаження, коефіцієнта бічного розпору, початкового радіуса склепіння виробки та нижньої частини стояка. За умови, що згинальний момент  $M_h = 0$ , маємо:

$$M_h = -R_A(R_0 - R_h\cos\alpha) + H_A R_h\sin\alpha + \lambda q_B [(R_h\sin\alpha)^2/2] + q_B [(R_0 - R_h\cos\alpha)^2/2] = 0, \quad (3)$$

де  $H_A$  – опорна горизонтальна реакція у шарнірі,

$$H_A = - \left[ \int_0^{\pi/2} M_1 M_p d\alpha / \left( \int_0^{\pi/2} M_1^2 d\alpha \right) \right],$$

$M_1$  – згинальний момент від одиначної сили,  
 $M_1 = R_h \sin\varphi$ ;  
 $M_p$  – згинальний момент від зовнішнього навантаження,

$$M_p = R_A(R_0 - R_h\cos\alpha) - q_B [(R_0 - R_h\cos\alpha)^2/2] - \lambda q_B [(R_h^2 \sin^2\varphi)/2];$$

$\alpha$  – кут між горизонталлю й радіусом для нижньої частини стояка.

Підставивши у формулу (3) всі значення та виконавши необхідні математичні розрахунки, одержуємо рівняння для визначення радіуса кривизни стояка

$$aR_h^2 + b = 0, \quad (4)$$

де  $a$  і  $b$  – коефіцієнти рівняння,

$$\begin{aligned} a &= 4\sin\alpha + 8\lambda\sin\alpha + 3\lambda\sin^2\alpha + 3\pi\cos^2\alpha; \\ b &= -3R_0^2\pi - 12R_0^2\sin\alpha. \end{aligned}$$

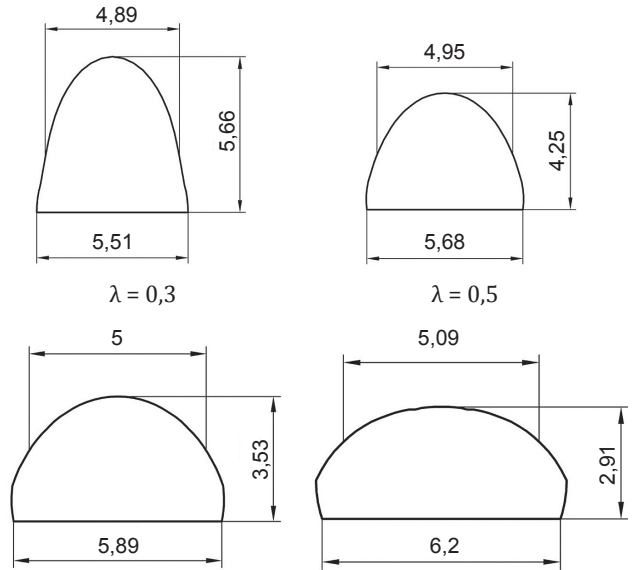


Рис. 3. Форми поперечного перерізу виробок залежно від коефіцієнта бічного розпору.

Точка  $O$  (див. рис. 1 і 2), з якої відкладають змінні радіуси кривизни  $R_\varphi$  та  $R_h$ , міститься на перетині вертикальної осі виробки та горизонтальної лінії, що розділяє склепіння й нижню частину стояка.

Для перевірки отриманих рівнянь (2) і (4) було виконано тестову задачу ( $\lambda = 1, h = 0$  м та  $R_0 = 2,5$  м). За результатами розрахунків побудовано форму площі поперечного перерізу виробки у вигляді кола, тобто при зміні  $\varphi$  від  $0$  до  $90^\circ$  радіус кривизни  $R_\varphi$  не змінювався й становив  $2,5$  м.

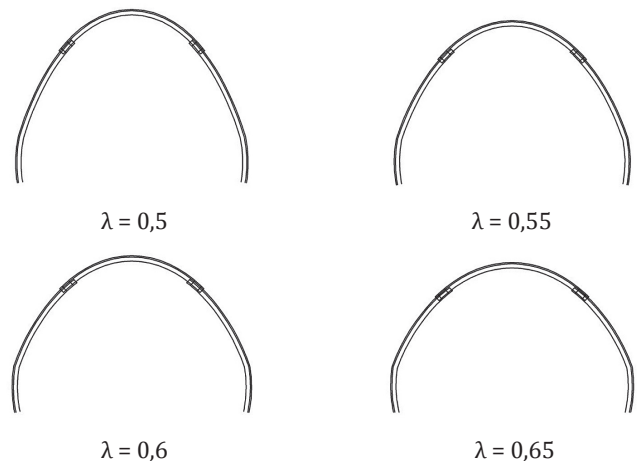


Рис. 4. Форми металевого аркового піддавливого кріплення при різних коефіцієнтах бічного розпору.

Форми поперечного перерізу виробок, які побудовано відповідно до значень радіусів кривизни верхняка і стояка, розрахованих за формулами (1) і (3) при  $h = 1$  м та  $R_0 = 2,73$  м, наведено на рис. 3. Наприклад, для спецпрофілю СВП-27 значення радіусів кривизни верхняка і стояка й форма кріплення наведено в таблиці і на рис. 4.

Значення радіусів кривизни: для верхняка				
φ	λ			
	0,5	0,55	0,6	0,65
90	2752	2557	2388	2240
85	2744	2552	2385	2239
80	2721	2537	2378	2236
75	2685	2515	2365	2232
70	2639	2486	2350	2228
65	2587	2453	2333	2224
60	2534	2420	2316	2221
55	2481	2388	2301	2221
50	2433	2359	2289	2224
45	-	2335	2282	2231
40	-	-	-	2244
для стояка				
α	λ			
	0,5	0,55	0,6	0,65
60	2534	-	-	-
55	2481	2388	2301	-
50	2433	2359	2289	2224
45	2391	2335	2282	2231
40	2358	2318	2280	2244
35	2333	2309	2285	2262
30	2318	2308	2297	2287
25	2314	2316	2318	2320
20	2321	2334	2348	2361
15	2340	2363	2387	2410
10	2371	2403	2436	2469
5	2414	2455	2496	2537
0	2472	2520	2568	2616
5	2519	2563	2607	2650
10	2567	2607	2646	2685
15	2617	2652	2686	2721
20	2669	2698	2727	2756
25	2721	2745	2769	2792

При правильному встановленні постійного кріплення у виробці металеве аркове піддатливе кріплення оптимальної форми в конкретних гірничо-геологічних умовах сприймає значні навантаження як вертикальні, так і скісноспрямовані і має достатню конструктивну піддатливість, що дає змогу кріпленню працювати в піддатливому режимі до переходу його в жорсткий режим.

**Висновки.** Запропоноване нове металеве аркове піддатливе кріплення при визначенні раціональних значень радіусів кривизни верхняка і стояків може забезпечити вирішення проблеми вибору доцільної форми рами кріплення в різних гірничо-геологічних умовах. Використання цього кріплення дасть змогу підвищити його несучу здатність, отже і стійкість гірничих виробок, а також підвищити точність й простоту побудови контуру рами кріплення, знизити собівартість видобутку корисних копалин, поліпшити техніку безпеки ведення гірничих робіт, знизити витрати на ремонтні роботи.

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення несучої здатності металевого рамного піддатливого кріплення раціональної форми в різних гірничо-геологічних умовах шахт ДТЕК.

### ЛІТЕРАТУРА

- Максимов А. П. Горное давление и крепи выработок. – М.: Недра, 1973. – 288 с.
- Баклашов И. В. Конструкция и расчет крепей и обделок / И. В. Баклашов, О. В. Тимофеев. – М.: Недра, 1979. – 263 с.
- Баклашов И. В. Механика подземных сооружений и конструкции крепей: учебн. для вузов / И. В. Баклашов, Б. А. Картозия. – М.: Недра, 1984. – 415 с.
- Пат. 54759 Україна, МПК E21D 11/14. Триланкове металеве рамне податливе кріплення «КМП-А3РЗ» / В. Я. Кириченко, А. В. Кириченко, Г. Г. Сугаренко; заявники і патентовласники В. Я. Кириченко, А. В. Кириченко. – № u201005392; заявл. 05.05.10; опубл. 25.11.10, Бюл. № 22. – 8 с.
- Пат. 61034 Україна, МПК E21D 11/14. Металеве арочне податливе кріплення / В. Я. Кириченко, А. В. Кириченко, Г. Г. Сугаренко; заявники і патентовласники В. Я. Кириченко, А. В. Кириченко. – № u201013693; заявл. 18.11.10; опубл. 11.07.11, Бюл. № 13. – 5 с.
- Терещук Р. М. Дослідження впливу розмірів виробки на напружено-деформований стан породного масиву / Р. М. Терещук, С. М. Гапеев, О. М. Терещук // Наук. вісник Нац. гірнич. ун-ту. – 2007. – № 1. – С. 103–106.