

RESEARCH PECULIARITIES OF THE WORK OF THE FRAME TRAPEZOIDAL REINFORCED SUPPORT WITH A CENTRAL PILLAR

E. Fesenko^{1}, Ye. Pavlov¹, A. Novak¹*

¹*Metinvest Polytechnic Technical University, Mariupol, Ukraine*

*Corresponding author: fesenkoed@gmail.com

Abstract. The construction is proposed and the operation of a frame trapezoidal support with a increased resistance of central pillar yielding (КРТП) is investigated. To determine the parameters of the КРТП, the design scheme was substantiated, the calculations of the bearing capacity and individual structural elements of the support were carried out with the finite element method using the Lira software package.

The substantiation of the choice of the distribution law and the magnitude of the external load on the support in the form of a quadratic parabola with the maximum value in the center of the beam is given, which corresponds to the principle of maximum likelihood and allows more reliable and accurate calculations.

The influence of the eccentricity of the installation of the central pillar on the support bearing capacity is analyzed, taking into account the construction features and the location of the element of strengthening the support beam. Calculations have shown that even a small eccentricity leads to a sharp decrease in the bearing capacity of the frame, and the absence of a central pillar in the trapezoidal support reduces its bearing capacity tenfold due to a sharp decrease in the strength of the beam. This proves the economic and technological inexpediency of designing and operating such supports without a central pillar.

The method of significant saving of rolled metal in frame supports is substantiated by replacing the load-bearing profile from the СВП with a closed box-shaped profile without losing the bearing capacity of the support.

Key words: closed box-shaped profile, frame support, yielding support, trapezoidal support, bearing capacity, bearing profile, rolled metal.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ РАМНОГО ТРАПЕЦІЄПОДІБНОГО ПОСИЛЕНОГО КРІПЛЕННЯ З ЦЕНТРАЛЬНОЮ СТІЙКОЮ

Е. Фесенко^{1}, Є. Павлов¹, А. Новак¹*

¹*Технічний університет «Метінвест Політехніка», м. Маріуполь, Україна*

*Відповідальний автор: fesenkoed@gmail.com

Анотація. Запропоновано конструкцію і досліджена робота рамного трапецієподібного кріплення з центральною стійкою підвищеного опору податливості (КРТП). Для визначення параметрів КРТП обґрунтована розрахункова схема, проведені розрахунки несучої здатності і окремих конструктивних елементів кріплення з використанням методу скінченних елементів за допомогою програмного комплексу Ліра.

Наведено обґрунтування вибору закону розподілу і величини зовнішнього навантаження на кріплення у вигляді квадратичної параболи з максимальним значенням в центрі верхняка, що відповідає принципу максимальної правдоподібності і дозволяє більш достовірно і точно виконати розрахунки.

Проаналізовано вплив ексцентриситету установки центральної стійки на несучу здатність кріплення з урахуванням особливостей проектування і розташування елемента посилення верхняка кріплення. Розрахунки показали, що навіть невеликий ексцентриситет призводить до різкого зниження несучої здатності рами, а відсутність центральної стійки в трапецієподібному кріпленні знижує його несучу здатність в десятки разів через різке

зменшення міцності верхняка. Це доводить економічну і технологічну недоцільність проектування і експлуатації таких кріплень без центральної стійки.

Обґрунтовано спосіб істотної економії металопрокату в рамних кріпленнях шляхом заміни несучого профілю з СВП на замкнутий коробчастий профіль без втрати несучої здатності кріплення.

Ключові слова: замкнутий коробчастий профіль, рамне кріплення, піддатливе кріплення, трапецієподібне кріплення, несуча здатність, несучий профіль, металопрокат.

Вступ. Задовільний експлуатаційний стан підготовчих гірничих виробок в умовах постійно зростаючих глибин розробки пластів на шахтах України можуть забезпечити тільки податливі конструкції кріплень. Це пов'язано з ускладненням гірничо-геологічних умов, що призводить до істотного збільшення зсувів порід контуру, особливо в зоні впливу очисних робіт. В даний час основним типом кріплення, що використовується при значних зсувах породного контуру, є рамне податливе кріплення (переважно арочного обрису), виготовлене зі сталевого прокату. В Україні таким кріпленням підтримується понад 90% підготовчих виробок і з великою часткою ймовірності можна стверджувати, що в найближчій перспективі ця цифра помітно не зміниться.

Переважає більшість рамних кріплень в даний час виготовляють зі спеціального взаємозамінного шахтного профілю СВП. В середньому витрачається близько 300-350 т металопрокату на кожен кілометр виробки. При цьому зведення кріплення, як правило, здійснюють вручну, що при значних розмірах виробки (понад 11-12 м²) є досить трудомістким, оскільки маса елемента кріплення (верхняка), який необхідно встановити на висоті 3,5-4 м, може досягати 140...160 кг. Тому так актуальна проблема зниження вартості і трудомісткості кріплення для гірничодобувної промисловості.

Особливу увагу слід звернути на вибір сталевого прокату для елементів кріплення. У роботах [1 - 3] виконано аналіз існуючих серійних профілів металопрокату і показано, що найбільш технологічним і ефективним для рамного кріплення є замкнутий тонкостінний профіль прямокутного обрису. Його міцність на вигин (за умови рівності мас 1 п.м.) вище, ніж у стандартних спецпрофілів типу СВП того ж перетину в 1,5 - 2 рази, а при крученні - в 16 - 27 разів.

Виконаний аналіз існуючих конструкцій рамного податливого кріплення [4] дозволив виявити основні його недоліки та сформулювати завдання по розробці нових конструкцій кріплень. В результаті була запропонована нове кріплення рамне трапецієподібне посилене (КРТП), яке складається з двох бічних і центральної стійок з спецпрофілю СВП і верхняка з консолями, виконаного з замкнутого профілю прямокутного обрису (прямокутної труби). При цьому центральна стійка має підвищений опір податливості, а верхняк в місці з'єднання з центральною стійкою забезпечений елементом посилення. Запропоновано методику та виконано розрахунок даної конструкції кріплення, обґрунтована її несуча здатність, типорозміри несучих профілів, необхідний опір вузлів піддатливості [4].

Розрахунки виконані для кріплення, в якому центральна стійка встановлена на однаковій відстані від бічних стійок. Однак на практиці це не завжди можливо через особливості прохідницького обладнання, що застосовується, його габаритних розмірів і можливостей маневрування у виробці.

У зв'язку з цим, **мета досліджень** полягає у вивченні особливостей роботи і несучої здатності КРТП під дією вертикального навантаження при установці центральної стійки на різній відстані від осі симетрії виробки. **Об'єктом досліджень** є рамне податливе трапецієподібне кріплення з верхняками з коробчастого профілю і центральною стійкою з елементом посилення, а **предмет досліджень** - несуча здатність і технічні параметри цього кріплення. **Завданнями досліджень** є розрахунок і обґрунтування параметрів КРТП при різних варіантах розташування центральної стійки.

Основна ідея досліджень полягає в урахуванні впливу місця розташування центральної стійки на несучу здатність кріплення КРТП і подальшому виборі його параметрів.

Методика. Для визначення параметрів КРТП виконаємо розрахунок даної конструкції з використанням методу скінченних елементів за допомогою програми Ліра.

Розрахункова схема кріплення представлена на рисунку 1. Висота кріплення прийнята $h = 3$ м, можлива величина податливості $\Delta U = 1000 \dots 1500$ мм. Такі геометричні характеристики дозволяють використовувати кріплення КРТП в умовах великих зсувів порід контуру в зоні впливу очисних робіт. Площа поперечного перерізу такого кріплення $S = 13,5$ м². Кут нахилу стійок становить 80° , довжина консолей верхняка прийнята рівною $0,5$ м. Консолі забезпечують більш рівномірний розподіл навантаження на верхняк, зменшення згинальних моментів і запобігання прокидання породи з покрівлі на стійки кріплення, особливо в районі сполучення кріплення з лавою.

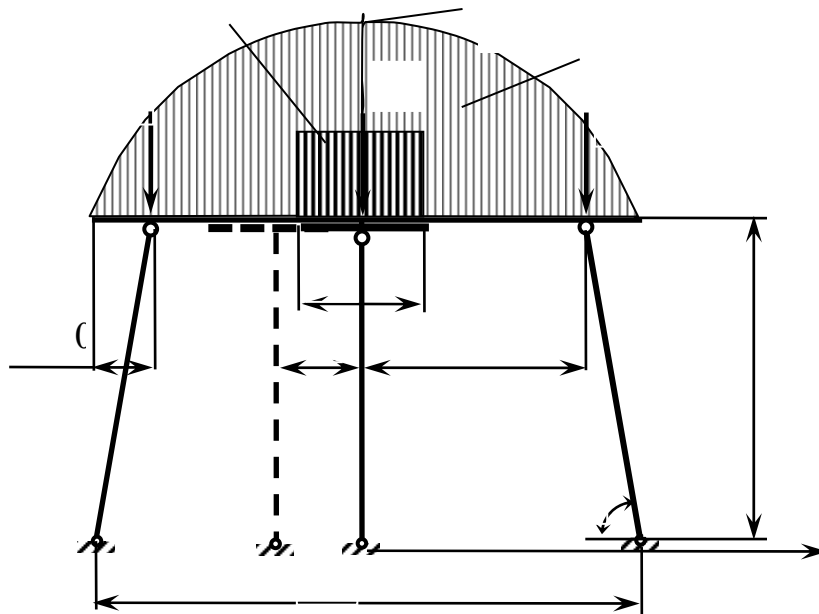


Рис. 1. Розрахункова схема кріплення КРТП

Нижні вузли 1, 2 стійок спираються на підшву виробки і прийняті як нерухомі шарніри. З'єднання стійок з верхняками також прийнято шарнірним. Елемент посилення верхняка має довжину l_{EP} і створює на ділянці посилення підвищений момент інерції J_x і момент опору W_x . Опір вузлів піддатливості кріплення прийнято $N_C = 100$ кН, $N_{Ц} = 2 N_C = 200$ кН, тобто на центральній стійці передбачена установка двох стандартних вузлів піддатливості. Величина опору одного вузла піддатливості - 100 кН відповідає середнім показникам випробувань серійних вузлів. Межа плинності стали, з якої виготовлені елементи кріплення, прийнята $R_y = 240$ МПа.

В роботі [4] наведено обґрунтування вибору закону розподілу і величини зовнішнього навантаження на кріплення з використанням принципу максимальної правдоподібності, що дозволяє більш достовірно і точно виконати розрахунки.

На даний момент нормативний документ, який регламентує розрахунки кріплень гірничих виробок [5], не враховує можливу нерівномірність зовнішніх навантажень на кріплення, за замовчуванням вважаючи його рівномірно розподіленим. Однак, найімовірніше, зруйновані породи будуть тиснути на верхняк кріплення нерівномірно, здійснюючи максимальний тиск в центрі виробки, де зміщення порід максимальні, при цьому частина навантаження на кріплення буде прикладена у вигляді зосереджених сил $\sum F_i$ до вузлів кріплення, а інша частина - у вигляді розподіленого по деякому закону навантаження q , тобто:

$$Q = (1 - k_q) \cdot \sum (q_i \cdot l_i) + k_q \cdot \sum F_i, \text{ кН} \quad (1)$$

де Q - загальне навантаження на раму кріплення, кН;
 $\sum(q_i \cdot l_i)$ - розподілене навантаження на кріплення, кН;
 i - порядковий номер ділянки на верхняку кріплення;
 q_i - усереднена розподілене навантаження на ділянці - l_i ;
 $\sum F_i$ - навантаження на кріплення у вигляді зосереджених сил;
 k_q - коефіцієнт нерівномірності навантаження.

Коефіцієнт нерівномірності навантаження k_q показує співвідношення між розподіленим навантаженням $\sum(q_i \cdot l_i)$ і зосередженими силами $\sum F_i$, що складають в сумі зовнішнє навантаження на кріплення Q . при $k_q = 1$ все навантаження на кріплення передається зосередженими силами, при $k_q = 0$ - розподіленими. Цей показник залежить від особливостей взаємодії кріплення з породним контуром, зазорів і контактних умов між кріпленням і породою, фізико-механічних властивостей порід, що вміщують виробку і технології спорудження виробки.

Значення коефіцієнта k_q слід визначати за допомогою шахтних інструментальних вимірювань або за методом аналогії, використовуючи досвід експлуатації подібних виробок. Оскільки точне значення коефіцієнта k_q невідомо, в розрахунках, як найбільш ймовірно, можна прийняти $k_q = 0,5$, а закон розподілу сил на верхняку $q(x)$ у вигляді квадратичної параболи з максимальним значенням q_{\max} в центрі верхняка (рис. 1):

$$q(x) = q_{\max} \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right), \quad (2)$$

де x - поточна горизонтальна координата, відрахована від центру виробки (рис. 1);
 a - половина ширини виробки ($a = 2,5$ м);

Крім того, елемент посилення верхняка має розмір l_{EP} , тому зосереджену силу $F_{Ц0}$, прикладену в центрі верхняка розділимо на два доданки - зосереджену $F_{Ц}$ і рівномірно розподілену $Q_{Ц}$ (рис. 1): $F_{Ц0} = F_{Ц} + q_{ц} \cdot l_{EP}$. При цьому:

$$q_{ц} = \frac{F_{Ц0}}{2l_{ЭУ}}. \quad (3)$$

Кріплення перейде в податливу стадію роботи, коли зовнішнє навантаження перевищить сумарний опір вузлів піддатливості, встановлених на стійках. Тому в нашій розрахунковій схемі граничне навантаження складатиме $Q = 400$ кН. Виходячи з цього, аналітично розраховані всі параметри зовнішнього навантаження при установці центральної стійки по осі симетрії перерізу ($l_c = 0$): $q_{\max} = 60$ кН/м, $F_{Ц0} = 114$ кН, $F_{Ц} = 57$ кН, $F_C = 43$ кН, $q_{ц} = 71,3$ кН/м.

Результати та обговорення. Завдання розрахунку складалися в отриманні епюри згинальних моментів, визначенні раціональної довжини елемента посилення l_{EP} , підборі міцних розмірів несучих елементів верхняка і елемента посилення. В результаті за допомогою програми Ліра отримані наступні епюри згинальних моментів (рис. 2).

Для розрахунку міцних розмірів елементів верхняка враховувалися екстремальні згинальні моменти: M_1 - в центрі верхняка, M_2 - між центральною і бічними стійками, M_3 - на межі елемента посилення. На першому етапі розраховане кріплення, в якому центральна стійка встановлена симетрично щодо осі виробки (рис. 2, а). В результаті розрахунку отримано значення згинальних моментів у характерних точках верхняка: $M_1 = 29$ кН·м, $M_2 = 7,9$ кН·м, $M_3 = 7,3$ кН·м. Відзначимо, що в стійках даної конструкції кріплення моменти дорівнюють нулю, тобто виконується умова їх центрального стиснення.

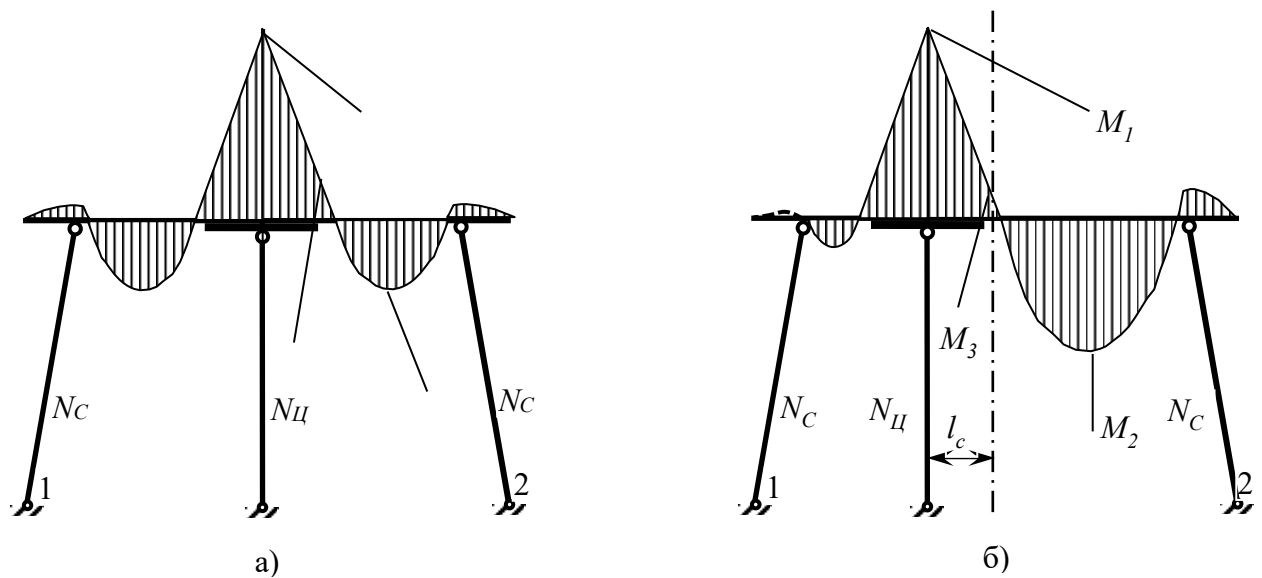


Рис. 2. Епюри згинальних моментів при розміщенні центральної стійки:
а) симетричному; б) зі зміщенням від осі симетрії на величину l_c

Відповідно до розрахунків проведено конструювання верхняка. Для його виготовлення доцільно прийняти несучий профіль - прямокутну трубу 110x90x3 мм, $W_x = 37,09 \text{ см}^3$, вага одного погонного метра $m = 8,96 \text{ кг}$.

Довжина і жорсткість елемента посилення вибиралася з умови сприйняття високого моменту, що вигинає в центральній частині верхняка. Оскільки верхняк в кріпленні КРТП є статично невизначеним, зі змінними перетином і жорсткістю, то раціональну довжину елемента посилення розраховували методом послідовних наближень і остаточно була прийнята прямокутна труба 140x100x5 мм, довжиною $l_{\text{ЭУ}} = 0,8 \text{ м}$ з характеристиками: $W_x = 86,9 \text{ см}^3$, $m = 17,55 \text{ кг/м}$.

Тоді загальна маса верхняка складе: $5 \cdot 8,96 + 0,8 \cdot 17,55 = 58,85 \approx 60 \text{ кг}$. Верхняк такої ж довжини з найлегшого, що випускається в даний час промисловістю спецпрофіля СВІП-22 буде мати масу $22 \cdot 5 = 110 \text{ кг}$, тобто в 1,83 рази більше. При цьому необхідно врахувати, що максимально допустимий згинальний момент $[M]$ для профілю СВІП-22 становить близько 18 кН·м. Такий верхняк над центральною стійкою буде зім'ятий ($M_1 \gg [M]$), а в прольоті між центральною і бічними стійками матиме зайвий запас міцності ($M_2 \ll [M]$).

Наступний етап розрахунку полягав у аналізі впливу ексцентриситету установки центральної стійки l_c на несучу здатність кріплення P (рис. 2, б). Розглянуто чотири варіанти розташування центральної стійки: 1) з ексцентриситетом $l_c = 20 \text{ см}$; 2) $l_c = 40 \text{ см}$; 3) $l_c = 1 \text{ м}$; 4) $l_c = 2,5 \text{ м}$, тобто коли центральна стійка відсутня. При цьому несучий профіль кріплення, місце установки елемента посилення верхняка і закон розподілу зовнішнього навантаження не змінювалися.

Несуча здатність кріплення P для кожного варіанту відповідає навантаженню на кріплення, коли будь-який з екстремальних згинальних моментів M_1 , M_2 або M_3 досягає свого граничного значення. Результати розрахунків представлені на графіку (рис. 3, лінія 1). По вертикальній осі відкладено процентне співвідношення несучої здатності кріплення P при даному ексцентриситеті l_c і його максимальної несучої здатності P_{max} , коли $l_c = 0$.

З ростом ексцентриситету установки центральної стійки l_c несуча здатність кріплення P різко падає. Так, вже при ексцентриситеті $l_c = 20 \text{ см}$, вона становить близько 43% ($P = 172 \text{ кН}$) від максимальної P_{max} (400 кН) (лінія 1, рис. 3); при $l_c = 40 \text{ см}$, $P = 0,23 P_{\text{max}} = 92 \text{ кН}$; при $l_c = 1 \text{ м}$, $P = 0,11 P_{\text{max}} = 44 \text{ кН}$. Мінімальну несучу здатність має кріплення без центральної стійки. Незважаючи на наявність елемента посилення верхняка, його несуча здатність виявляється надзвичайно низькою і становить $P = 0,046 P_{\text{max}} = 18,5 \text{ кН}$. Це доводить

недоцільність застосування трапецієподібних рамних кріплень без центральної стійки через неприпустимо низьку несучу здатність їх верхняка.

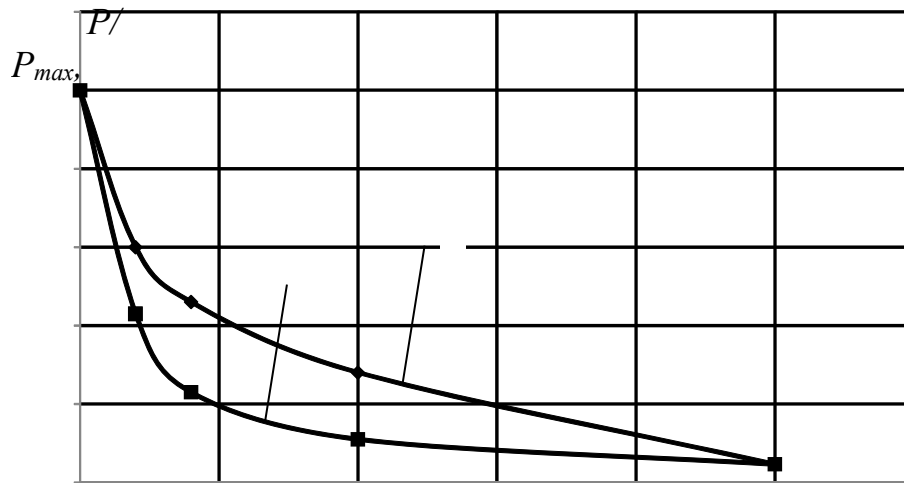


Рис. 3. Залежність несучої здатності кріплення КРТП від ексцентриситету установки центральної стійки при розташуванні елемента посилення верхняка:
1 - в центрі верхняка; 2 - зі зміщенням від осі симетрії на величину l_c

Проаналізуємо залежність несучої здатності кріплення P від ексцентриситету установки центральної стійки l_c , коли елемент посилення верхняка «рухається» слідом за стійкою, тобто центральна стійка переміщається на величину l_c разом з елементом посилення верхняка. Для цього проведені розрахунки, аналогічні попереднім (для $l_c = 20$ см, 40 см, 1 м, 2,5 м). Однак, через зміщення елемента посилення, кожен раз перераховувалася частина зовнішнього навантаження, що припадає на зосереджені сили і розподілене навантаження на елемент посилення. Параметри зовнішнього навантаження для кожного з чотирьох варіантів установки центральної стійки наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Параметри зовнішнього навантаження при різній величині ексцентриситету l_c

l_c , см	q_{max} , КН/м	$F_{Ц0}$, кН	$F_{Ц}$, кН	F_{Cn} , кН	F_{Cl} , кН	q_y , КН/м
20	60	113	56,5	48,6	38,4	70,6
40	60	112,8	56,4	54,0	33,2	70,5
100	60	108,6	54,3	70,4	21,0	67,9
250	60	114	57,0	43	43	71,3

Як видно з рисунку 3, (лінія 2), при такій конструктивній схемі несуча здатність кріплення P істотно знижується при збільшенні ексцентриситету l_c , хоча і не так різко, як у першому випадку (рис. 3, лінія 1). Так, при ексцентриситеті $l_c = 20$ см, $P = 0,6 P_{max} = 240$ кН; при $l_c = 40$ см, $P = 0,46 P_{max} = 184$ кН; при $l_c = 1$ м, $P = 0,28 P_{max} = 112$ кН.

Розрахунки показали, що навіть незначний ексцентриситет установки центральної стійки кріплення КРТП призводить до різкого зниження його несучої здатності, що неприпустимо. Тому для забезпечення заданої несучої здатності центральна стійка такого кріплення повинна бути встановлена як можна більш точно по центру виробки без ексцентриситету.

Однак в деяких випадках через особливості застосовуваного в виробці обладнання може виникнути необхідність зміщення центральної стійки від осі виробки. Тоді, для забезпечення необхідної несучої здатності кріплення, необхідно виконати перерахунок з метою вибору нових міцних типорозмірів несучих профілів.

Виконаємо перерахунок несучих елементів верхняка кріплення КРТП для всіх розглянутих випадків установки центральної стійки ($l_c = 20$ см, 40 см, 1 м, 2,5 м). Результати розрахунків представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Результати підбору несучих профілів КРТУ при різних ексцентриситетах l_c

l_c , см	Несучий елемент верхняка		Елемент посилення верхняка		Загал ьна маса верхняка m , кг	$m/m_{оптим}$, %	$m_{кр}/m_{кр.оптим}$, %
	типороз мір	Маса 1 п.м., кг	типороз мір	Маса 1 п.м., кг			
0	x4 120x100	1 3,0	140x1 10x3	1 1,31	74,0	1,2 3	1,05
0	x4 140x100	1 4,25	150x1 10x3	1 1,78	81,0	1,3 5	1,07
00	x4 160x100	1 5,5	180x1 20x4	1 8,0	92,0	1,5 3	1,11
50	x12,5 300x200	8 7,95	-	-	440,0	7,3 3	2,07

В останніх колонках таблиці 2 дано розрахунок перевитрати металу верхняка $m/m_{оптим}$ і металу всієї рами кріплення $m_{кр}/m_{кр.оптим}$ в порівнянні з кріпленням оптимальної конструкції ($l_c = 0$). Для всіх розглянутих варіантів (табл. 2) перерахунок несучих елементів дозволяє зберегти несучу здатність кріплення на рівні $P = 400$ кН. Як бачимо, при цьому витрата металу на верхняк кріплення зростає не більше, ніж в 1,53 рази, а на всю раму кріплення - не більше, ніж в 1,11 рази (при ексцентриситеті $l_c = 1$ м), за винятком випадку, коли центральна стійка відсутня ($l_c = 2,5$ м). Це дозволяє зробити важливий практичний висновок - проектувати і експлуатувати трапецієподібні рамні кріплення без центральної стійки недоцільно через низьку несучої здатності верхняка такого кріплення.

Для більш наочного уявлення залежності металоємності кріплення КРТП від ексцентриситету центральної стійки побудований графік (рис. 4).

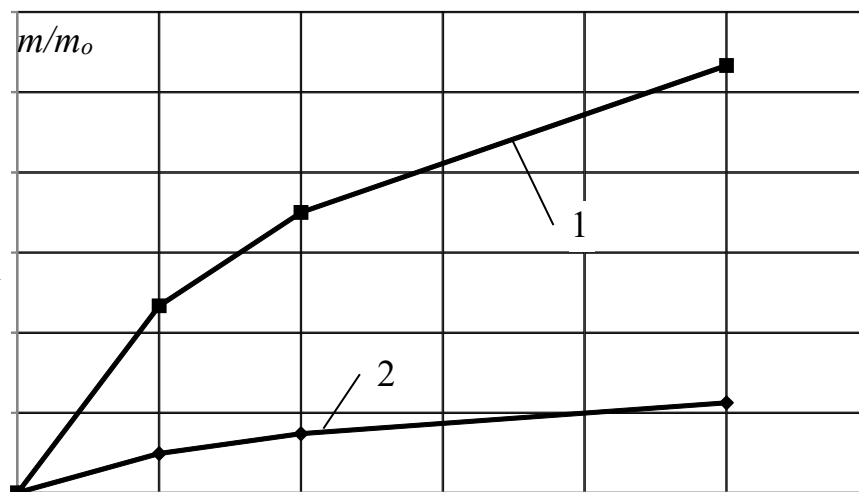


Рис. 4. Залежність відносної маси кріплення КРТП від ексцентриситету установки центральної стійки l_c : 1 - верхняк; 2 - маса всієї рами

На графік (рис. 4) не нанесені розрахункові точки, відповідні кріпленню КРТП без центральної стійки, оскільки, як було сказано вище, застосування такого кріплення економічно і технічно не виправдано. Так, для забезпечення необхідної несучої здатності $P = 400$ кН необхідно масу верхняка збільшити з 60 до 440 кг або в 7,33 рази (див. табл. 2), при цьому маса всієї рами зростає в 2,07 рази з 285 до 590 кг.

На практиці, як правило, немає необхідності встановлювати центральну стійку з великими ексцентриситетами. Зазвичай для нормального розміщення устаткування досить змістити центральну стійку на 20 - 50 см. При цьому металоємність верхняка для забезпечення несучої здатності кріплення $P = 400$ кН, необхідно збільшити в 1,23 ... 1,4 рази. Маса всього кріплення зростає в 1,05 ... 1,12 разів.

Конструкція КРТП з центральною стійкою підвищеного опору дозволяє створювати потужний відпір кріплення в центрі прольоту верхняка і передавати цей відпір безпосередньо на підшву виробки. Завдяки такій схемі велика частина довжини верхняка виявляється навантаженою незначно.

Таке конструктивне рішення робить край сприятливий вплив на деформаційну поведінку шаруватих порід плоскої покрівлі та підшви. Останні, піддаючись руйнівному впливу концентрації напружень навколо гірничої виробки, прагнуть переміститися всередину неї з характерною хвилеподібною формою поздовжньо-поперечного вигину і втрати стійкості шарів [6]. Встановлений в центрі виробки верхняк створює потужний відпір і здатний в значній частині або навіть повністю запобігти такій край несприятливу форму прояви гірського тиску, яка превалює на великих глибинах і, особливо, в зоні шкідливого впливу очисних робіт - випинання шарів порід у виробку з боку покрівлі і підшви. Таким чином, на відміну від арочних кріплень, які виявляються неефективними для запобігання видавлювання порід, особливо з боку підшви, кріплення КРТП надає потужну протидію втрати стійкості шарів гірських порід своєю центральною стійкою, яка виконує функцію м'якого розпору і запобігає конвергенції покрівлі і підшви.

Описані переваги кріплення КРТП дозволяють цілком обґрунтовано стверджувати про можливість заміни кріплення арочної і криволінійної форми на трапецієподібне кріплення КРТП під плоску покрівлю в пластових підготовчих виробках. Це підтверджується також тим, що в новому кріпленні можна створити великий запас вертикальної податливості (до 1200 - 1500 мм) без порушення його роботи в штатному режимі і зниження несучої здатності рами в цілому в процесі податливості, що неможливо в арочних кріпленнях.

Висновки. 1. Запропоновано кріплення КРТП (кріплення рамне трапецієподібне посилене), що відрізняється полегшеною конструкцією верхняка з коробчастого профілю з консолями і елементом посилення оптимальної довжини над центральною стійкою підвищеного опору податливості. Обрана і обґрунтована розрахункова схема, розроблена методика визначення узагальненого навантаження на кріплення з боку масиву.

2. За допомогою програми «Ліра» досліджені і обґрунтовані найбільш раціональні конструктивні параметри кріплення КРТП в цілому і окремих його елементів, показано, що загальна несуча здатність кріплення становить для існуючих вузлів податливості 400 кН при конвергенції покрівлі і підшви від 400 до 1500 мм.

3. Досліджено вплив ексцентриситету установки центральної стійки на несучу здатність кріплення і показано, що навіть невеликий ексцентриситет призводить до різкого зниження несучої здатності. Доведено, що проектувати і експлуатувати трапецієподібні рамні кріплення без центральної стійки економічно і технологічно недоцільно через неприпустимо низьку несучу здатність верхняка.

4. При необхідності розміщення центральної стійки КРТП з деяким ексцентриситетом, доцільно в кожному конкретному випадку виконати перерахунок і вибрати новий типорозмір несучого профілю верхняка. Це призведе до деякого збільшення витрати металу на раму кріплення (на 5 ... 10% в залежності від величини ексцентриситету), однак дозволить зберегти високу несучу здатність кріплення (не менше 400 кН).

5. Перспективним напрямом вдосконалення кріплення КРТП є заміна несучого профілю стійок з СВП на коробчастий профіль, що забезпечить істотну економію металопрокату.

Acknowledgements

Робота виконана на основі власних досліджень без зовнішньої фінансової допомоги.

References

1. Фесенко Е.В., Павлов Є.Є. & Новак А.І. (2021) Оптимальний несучий профіль для рамного кріплення. Збірник наукових праць НГУ, 65, 69-76.

Fesenko E.V., Pavlov Ye. Ye. & Novak A.I. (2021) Optymalnyi nesuchyi profil dlia ramnoho kriplennia. Zbirnyk naukovykh prats NHU, 65, 69-76.

2. Литвинский Г.Г. & Фесенко Э.В. (2012) Исследование эффективности прокатных профилей для рамной крепи горных выработок. Уголь Украины, 11, 11 – 14.

Litvinskiy G.G. & Fesenko E.V. (2012) Issledovaniye effektivnosti prokatnykh profiley dlya ramnoy krepі gornykh vyrabotok. Ugol' Ukrainy, 11, 11 – 14.

3. Литвинский Г.Г. & Фесенко Э.В. (2013) Оптимальный прокатный профиль для рамной крепи. Вісті Донецького гірничого інституту, 1(32), 198 – 203.

Litvinskiy G.G. & Fesenko E.V. (2013) Optimal'nyy prokatnyy profil' dlya ramnoy krepі. Visti Donetskoho hirnychoho instytutu, 1(32), 198 – 203.

4. Литвинский Г.Г. & Фесенко Э.В. (2014) Разработка и исследование конструкции рамной трапецевидной усиленной крепи. Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2014». Дніпропетровськ, 2, 121 – 129.

Litvinskiy G.G. & Fesenko E.V. (2014) Razrabotka i issledovaniye konstruktssii ramnoy trapetsiyevidnoy usilennoy krepі. Materialy mizhnarodnoi konferentsii «Forum hirnykiv – 2014». Dnipropetrovsk, 2, 121 – 129.

5. СОУ 10.1.00185790.011:2007 (2007) Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони. Київ: Мінвуглепром України.

SOU 10.1.00185790.011:2007 (2007) Pidhotovchi vyrobky na polohykh plastakh. Vybir kriplennia, sposobiv i zasobiv okhorony. Kyiv: Minvuhleprom Ukrainy.

6. Шашенко А.Н. & Каганов М.Е. (1990) Моделирование процесса пучения пород почвы в подземных выработках. Известия вузов. Горный журнал, 11, 21 – 26.

Shashenko A.N. & Kaganov M.Ye. (1990) Modelirovaniye protsessa pucheniya porod pochvy v podzemnykh vyrabotkakh. Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal, 11, 21 – 26.