

© С.В. Фелоненко, В.В. Губкіна, О.М. Твердохліб, О.П. Трофимова

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ РОЗПІРНО-КРІПІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ПРОХІДНИЦЬКОГО КОМБАЙНУ ВИБІРКОВОЇ ДІЇ

© S. Felonenko, V. Gubkina, O. Tverdokhlib, O. Trofymova

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## SUBSTANTIATING RATIONAL PARAMETERS FOR A STULL-TIMBERED DEVICE OF THE SELECTIVE HEADING MACHINE

**Мета.** Проведення досліджень запропонованих варіантів перекриття, яке підтримує покрівлю виробки і забезпечує утримання покрівлі від обвалу з захистом людей і механізмів. Для дослідження поставленої мети проведено експертну оцінку існуючих засобів утримання порід покрівлі в зоні роботи людей і механізмів.

**Методика дослідження** полягає в застосуванні програмного забезпечення та комп'ютерного моделювання процесів взаємодії порід гірничої виробки з арочними варіантами конструкції.

**Результати дослідження.** Виконано короткий аналіз найбільш розповсюджених конструкцій для тимчасового кріплення підготовчих та капітальних гірничих виробок.

Запропоновано варіанти конструкції перекриття та їх елементів для тимчасового кріплення. Обґрунтовано параметри чотирьох секційного перекриття. Розраховані навантаження, діючі на розпірно-кріпильний устрій та коефіцієнти, необхідні для визначення навантажень від породи, міцності окремих шарів покрівлі та «ґрунту», зусилля в гідроциліндрі стійки.

**Наукова новизна.** Застосування тимчасового арочного кріплення в зоні роботи прохідницького комбайну сприяє зменшенню низки технологічних операцій та застосування ручного труда і безпеки обслуговуючого персоналу. Швидкість прохідницьких робіт збільшується.

**Практичне значення.** На основі аналізу роботи прохідницького комбайну вибіркового типу з легкообрушуваною покрівлею наведено результати досліджень, направлених на конструктивне удосконалення комбайна. Складова частина якого може змінюватися в залежності від гірничо-геологічних умов роботи. Одержані параметри перевірені розрахунками та конструктивними рішеннями. Значно зменшується мінімальна маса кріплення, яка одночасно являється жорсткістю і міцністю конструкції. Отримані результати можуть бути застосовані при проходці тунелів метрополітену та інших аналогічних роботах, при будівництві авто- та залізничних доріг. Конструкція пристрою має можливість регулювання по висоті в залежності від стану кривлі виробки.

**Ключові слова:** тимчасове арочне кріплення, секційне гідравлічне кріплення.

**Вступ.** Залежно від гірничо-геологічних умов і типу кріплення підготовчих або капітальних виробок підземних споруд вартість кріплення становить від 30 до 45% загальної вартості проведення робіт, а витрати часу на кріплення досягають 20-25% часу всього гірничо-прохідного циклу. Виробки, що проводяться, закріплюють дерев'яним, арочним металевим, анкерним і збірним залізобетонним кріпленням або монолітним бетоном.

Процес зведення кріплення, особливо штучного з дерев'яних або залізобетонних стійок і аркової металевої, поки що важко піддається механізації. Більшою мірою для механізації зручний процес зведення анкерного кріплення, із залізобетонних тубінгів та з монолітного бетону. Механізація зведення кріплення утруднена тим, що це має бути взаємно пов'язане з іншими процесами і механізмами, що знаходяться в виробленні, і особливо з прохідницькими комбайнами, бурильними установками, вантажними машинами, а також із засобами транспорту. Крім того, різноманітність перерізів гірничих виробок і наявність постійного гірського тиску, що постійно змінюється, ускладнюють створення невеликої кількості єдиних за формою типорозмірів кріплення. Ці обставини також ускладнюють завдання механізації зведення кріплення.

**Актуальність досліджень.** Для тимчасового та постійного кріплення гірничих виробок застосовують механізовані кріплення, призначені для підтримки покрівлі над комбайном з метою зменшення оголення простору біля вибою та перенесення за комбайн, у менш стиснутий простір, встановлення постійного кріплення. Застосування механізованих кріплень дуже прогресивне, тому що дає можливість поєднання прохідницьких операцій з руйнування вибою та зведення постійного кріплення і, крім того, забезпечує завдяки наявності перекриття безпеку прохідників.

Механізовані кріплення зазвичай використовують при покрівлі, що важко обрушується, так як в іншому випадку виникають явища так званого «топтання» покрівлі та її обвалення.

Роботи по встановленню металевого аркового кріплення за допомогою монорейкового кріпестановника [1 – 4] включають доставку комплексу елементів кріплення в забій, установку рами і пересування монорейки. Доставка пакета з елементами аркового кріплення до хвостової частини комбайнового комплексу здійснюється в транспортних візках [5] спеціальною вантажною монорейковою дорогою, розташованою на штреку. Елементи аркового кріплення складаються на накопичувачі.

У роботах з доставки кріплення від місця складування до вибою беруть участь двоє прохідників, один з яких є машиністом кріпестановника. Елементи аркового кріплення з накопичувача доставляються на монтажний стіл, де проводиться монтаж кріплення. Кріп захоплюється стрілою кріпестановника, [5] розгортається в транспортне положення та транспортується до вибою для монтажу. Це досить трудомістка та багатоходова операція з використанням ручної праці. Крім того, вона не безпечна.

Аналіз стану питання показує, що розробка та обґрунтування параметрів повністю механізованого, керованого та цілеспрямованого розпірно-кріпильного пристрою прохідницького комбайна вибіркового типу є актуальним завданням.

**Мета і постановка задач.** Проведення досліджень роботи тимчасового механізованого кріплення, яке є невід'ємною частиною прохідницького комбайну вибіркового типу. В залежності від стану покрівлі розглянуті варіанти двох- і чотирьохсекційного перекриття. В результаті проведення аналізу двох варіантів перекриття одержані результати програмних розрахунків при різних навантаження

покрівлі. При заданому матеріалі перекриття (легована сталь). Порівнявши дві конструкції можна вибрати дво- або чотирьохсекційну конструкцію. Враховуючи їх масу і краще підлаштування під нерівність виробки. Зменшення маси можливе за рахунок запасу міцності секції.

Проведення досліджень запропонованих варіантів перекриття, яке підтримує покрівлю виробки і забезпечує утримання покрівлі від обвалу з захистом людей і механізмів. Для дослідження поставленої мети проведено експертну оцінку існуючих засобів утримання порід покрівлі в зоні роботи людей і механізмів.

**Характеристика об'єкта дослідження.** У загальному вигляді розпірно-кріпильний пристрій є гідравлічними маніпуляторами (рис. 1) з гідроциліндром 1 і перекриттям (упором) 2. Пристроїв може бути кілька (рис. 2), які встановлюються за різними схемами на базовій машині. Перекриття контактує з покрівлею та (або) бічною стінкою виробки. Залежно від умов роботи конструктивні рішення пристроїв можуть бути різними [6]. Передбачається навіть локальне кріплення ділянки виробки за результатами прогнозованих даних напруженого стану попереду гірського масиву, що лежить, на відстані до одного метра вглиб породи [6].

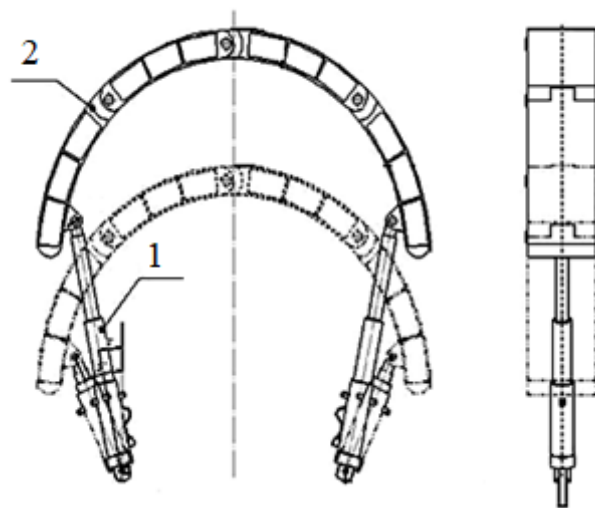


Рис. 1. Гідравлічний маніпулятор розпірно-кріпильного пристрою:  
1 – гідроциліндр; 2 – перекриття (упор)

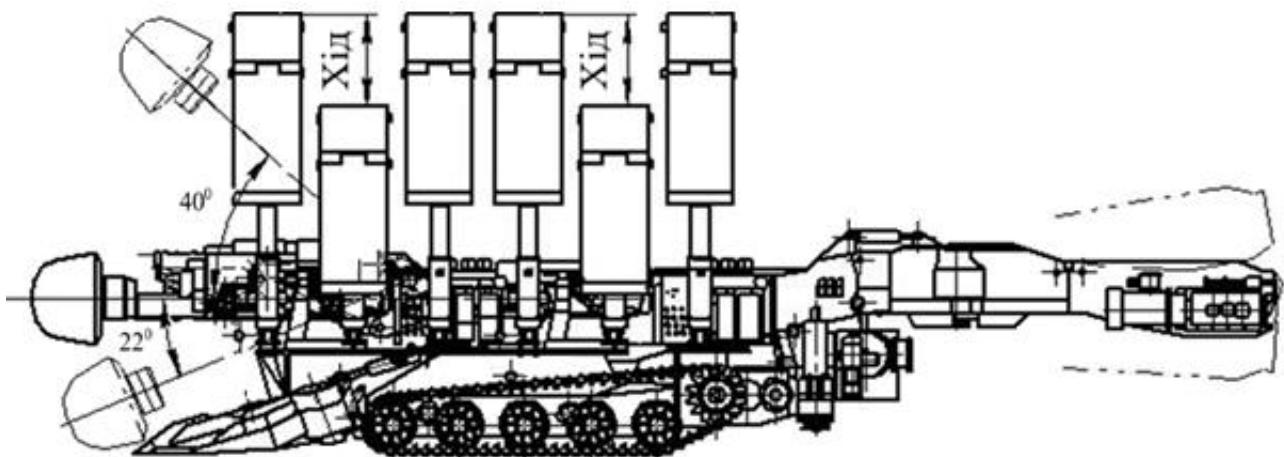


Рис. 2. Прохідницький комбайн з розпірно-кріпильним пристроєм

Для розрахунку навантажень [7], як вихідні дані, можуть бути прийняті геометричні параметри капітального або підготовчої гірничої виробки, а також гірничо-геологічні умови її проходження, наприклад, у наступному вигляді:  $S_{\text{пр}}$  – площа поперечного перерізу виробки в проходці,  $\text{м}^2$ ;  $S_{\text{св}}$  – площа виробки у світлі з урахуванням профілю кріплення та затяжки,  $\text{м}^2$ ;  $B$  – ширина виробки у світлі з урахуванням профілю кріплення та затяжки,  $\text{м}$ ;  $B_{\text{д}}$  – додаткова ширина виробки у світлі з урахуванням профілю кріплення та затяжки,  $\text{м}$ ;  $\gamma_n$  – об'ємна вага порід,  $\text{кН}/\text{м}^3$ ;  $H_{\text{вир}}$  – висота виробки в проходці,  $\text{м}$ ;  $H$  – глибина розробки,  $\text{м}$ .

### **Розрахунок коефіцієнтів, необхідних для визначення навантаження від порід, що діють на пристрій**

Коефіцієнт впливу виробки в проходці

$$B_{\text{пр}} = 1,1B + B_{\text{д}}, \text{ м.} \quad (1)$$

Коефіцієнт впливу геометричних розмірів виробки

$$K_s = 0,2(B_{\text{пр}} - 1). \quad (2)$$

Коефіцієнт  $\alpha$  виду підтримки виробки у разі її проведення або експлуатації.

### **Розрахунок міцності від окремих шарів покрівлі**

Розглянемо розрахункову схему [8] (рис. 3) визначення міцності порід.

Вплив напластування [9] необхідно враховувати не менше ніж 20 м від середини виробки в покрівлі та ґрунті.

У цьому пласті порід значної товщини необхідно ділити на пласти товщиною трохи більше, ніж 5 м [9].

Якщо виробка обводнена, опір порід зменшується на:

20% – для пісковиків; 30% – для вапняку; 40% – для алевролітів; 50% – для аргілітів.



Рис. 3. Розрахункова схема визначення міцності порід

Міцність окремих шарів порід розраховуємо за формулою:

$$R_j = R_0 \cdot K_c, \text{ МПа}, \quad (3)$$

де  $R_0$  – опір порід на одновісний стиск, МПа;  $K_c$  – коефіцієнт, який враховує порушення породного масиву;  $K_c = 1$  для непорушеного масиву;  $K_c = 0,7$  – для значно порушеного масиву;  $K_c = 0,4$  – у зонах дроблення, зминання, замках складок;  $R_j$  – міцність окремих шарів порід, МПа.

**Визначення відстані від центру виробки до центру пласта.**

Згідно з формулою (4) розрахуємо коефіцієнт впливу шарів порід на міцність, що визначається,  $K_i$

$$K_i = \exp(-\alpha(l_i - (h/2))), \quad (4)$$

де  $l_i$  – відстань від центру виробки до центру пласта, м.

**Розрахунок середньої міцності порід**

Міцність порід покрівлі та ґрунту (5)

$$R_{кр} = \frac{R_1 m_1 K_1 + R_2 m_2 K_2 + R_3 m_3 K_3 + \dots + R_i m_i K_i}{m_1 K_1 + m_2 K_2 + m_3 K_3 + \dots + m_i K_i}, \text{ МПа}. \quad (5)$$

Відповідно до формули (6) визначається середня міцність порід

$$R_{cp} = \frac{R_{кр} + R_n}{2}, \text{ МПа}. \quad (6)$$

**Розрахунок зміщення порід виробки**

Очікувані зміщення порід виробки

$$U_{кр} = U \cdot K_{кр}, \text{ м}, \quad (7)$$

де  $U$  – зміщення покрівлі та ґрунту, м;  $K_{кр}$  – коефіцієнт, який характеризує частину зсувів покрівлі від загальних зсувів покрівлі та ґрунту

$$K_{кр} = \frac{R_{п} \cdot K_{п}}{R_{кр} + R_{п}}. \quad (8)$$

Для виробок, що проводяться у масиві вугілля чи порід, розраховується за формулою

$$K_{п} = 1,2 - 0,0004, \text{ Н} \quad (9)$$

Величина зсувів бічних порід  $U_{\delta}$  у мм, розраховується за такою формулою

$$U_{\delta} = U \cdot K_{\delta}, \text{ мм} \quad (10)$$

де  $K_{\delta}$  – коефіцієнт, який характеризує зміщення боків виробітку  $U_{\delta}$  по відношенню до сумарного зміщення порід  $U$ .

Сумарне зміщення порід у виробках, що підтримуються при проведенні у попередньо порушеному масиві  $U_{пр}$  розраховують згідно з формулою

$$U_{\text{пр}} = 1,5 \cdot H \cdot K_S \cdot K_y, \text{ м} \quad (11)$$

де  $H$  – глибина закладання вироблення, м;  $K_S$  – коефіцієнт впливу геометричних розмірів виробітку;  $K_y$  – коефіцієнт впливу стійкості гірських порід.

Розраховуємо висоту склепінності порід, що розшарувалися,  $h_c$ , м

$$h_c = \frac{U_{\text{кр}}}{\alpha}, \text{ м} \quad (12)$$

де  $\alpha$  – обирається згідно табл. 1.

Розрахуємо вагу порід у кН з формули

$$P = \frac{2}{3} \cdot B_{\text{пр}} \cdot \gamma \cdot h_c, \text{ кН} \quad (13)$$

де  $P$  – вага порід покрівлі, кН.

#### Розрахунок необхідного зусилля у циліндрі

Розглянемо схему (рис. 4) [8], необхідну для визначення зусилля в гідравлічних стійках.

З умови рівноваги навантажень  $P$  та реакцій у шарнірах, що підкріплюють дугу, приходимо до рівняння (14)

$$\sum F_{ix} = 0. \quad (14)$$

Враховуючи, що  $d_s = r d_\varphi$ , зусилля у гідростійці можна визначити як

$$N = \int_0^\pi \sin \varphi \cdot q \cdot r \cdot d\varphi = q \cdot r, \text{ Н}$$

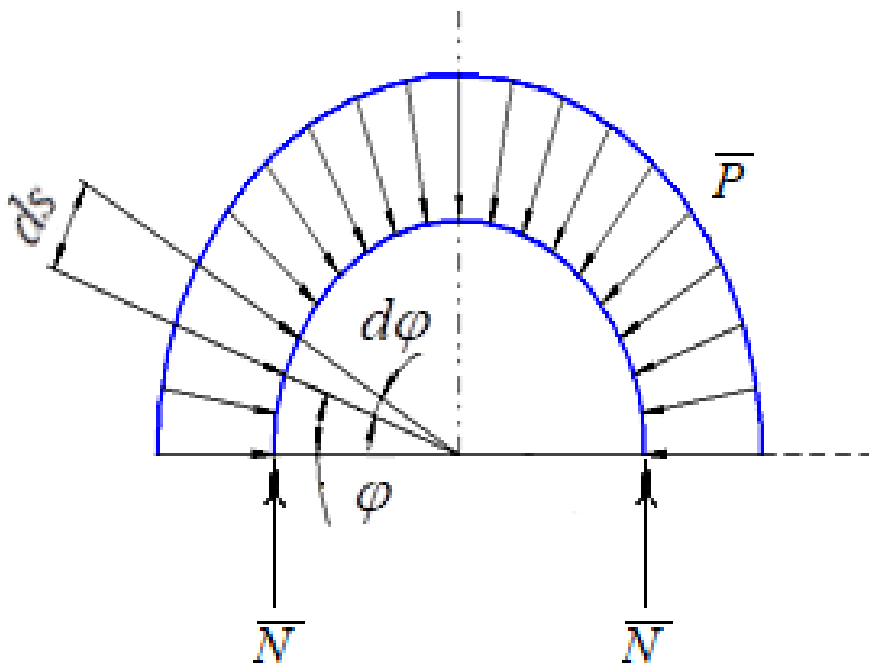


Рис. 4. Розрахункова схема визначення зусилля в гідростійці:

$d_\varphi$  – елементарний кут, що використовується під час інтегрування;  $\varphi$  – поточний кут, що вимірюється від 0 до  $\pi$ ;  $d_s$  – довжина елементарної дуги на склепінні  $\alpha$

Розглянемо розрахункову схему (рис. 5) необхідну визначення робочого опору в гідравлічній стійці залежно від кута їх установки.

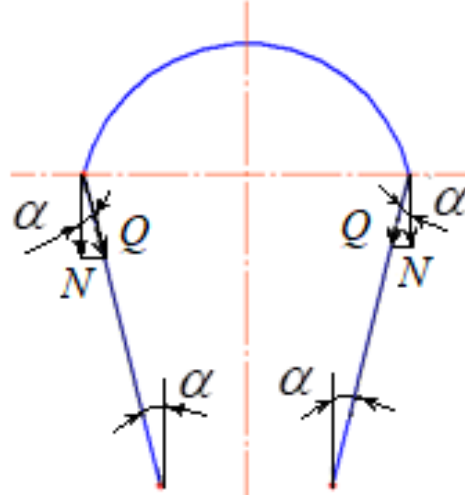


Рис. 5. Розрахункова схема визначення робочого опору в гідравлічних стійках залежно від кута їх установки:

де  $\alpha$  – кут установки гідростійки;  $Q$  – робочий опір гідростійки, Н

Визначимо робочий опір гідростійки в залежності від кута її установки

$$Q = N / \cos(\alpha), \text{ Н.} \quad (15)$$

Виходячи з отриманих даних, побудуємо графік залежності зусилля розпору в гідравлічних стійках від кута їх установки (рис. 6).

За величиною робочого опору з типового ряду приймаємо шахтну гідравлічну стійку 1...2-ї розсувності.



Рис. 6. Графік залежності зусилля у гідроциліндрі від кута його встановлення

**Варіанти перекриття для розпірно-кріпильного пристрою прохідницького комбайну**

Необхідно, щоб перекриття (рис. 7) [8] повторювало форму виробітку, і мало можливість підлаштуватися під нерівності покрівлі. Існуючі конструкції перекриттів металоємні і мають велику масу. Необхідно створити перекриття, яке буде витримувати вагу порід, і при цьому напруги, що виникають, в перекритті не повинні перевищувати допустимі.

Обґрунтування параметрів чотирьох секційного перекриття.

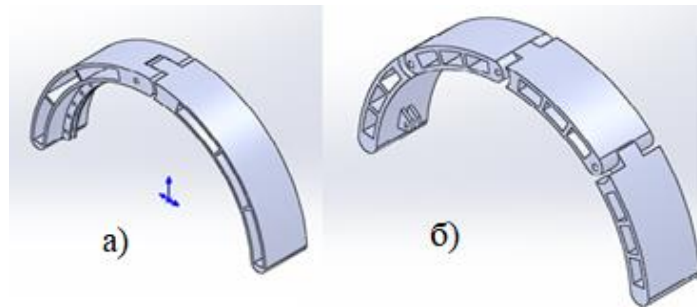


Рис. 7. Приклади перекриття: а) двосекційне; б) чотирьох секційне

Порівняємо ці дві конструкції (рис. 8, 9) за допомогою програми SolidWorks Simulation [9].

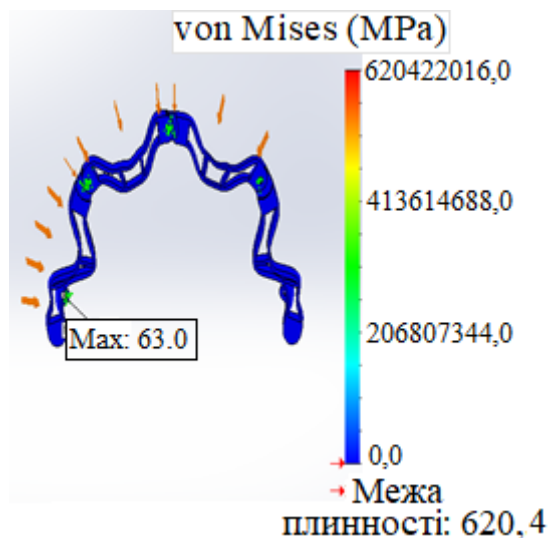


Рис. 8. Результати розрахунку 2-х секційного перекриття



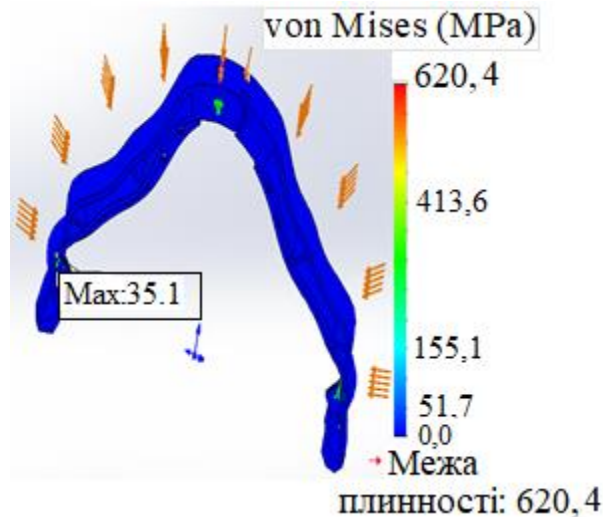


Рис. 9. Результати розрахунку 4-х секційного перекриття

Задамо навантаження від ваги порід покрівлі  $P = 288.9$  кН.

Задамо як матеріал леговану сталь.

1) Маса даної конструкції складає 2,5 тонни.

Коефіцієнт запасу міцності приблизно дорівнює 10.

2) Маса 2-х секційного перекриття складає 2,8 тонни

Коефіцієнт запасу міцності приблизно дорівнює 17.

Порівнявши дві конструкції, виходячи з результатів (див. рис. 8, 9) вибираємо 4-х секційне перекриття, так як воно має меншу масу і переміщення, краще підлаштовується під нерівності вироблення, і володіє меншим коефіцієнтом міцності.

#### **Зменшення маси 4-х секційного перекриття**

Зменшення маси можливе за рахунок великого запасу міцності секцій.

За допомогою програми Solid Works Simulation досліджуємо секції перекриття.

#### **Схема навантаження секції 4-х секційного перекриття**

Передбачуване навантаження  $P$ , кН;

матеріал – легована сталь;

кріплення – зафіксований шарнір.

Змінюємо товщину перекриття та підреберного підкріплення від 50 мм до 15 мм (рис. 10).

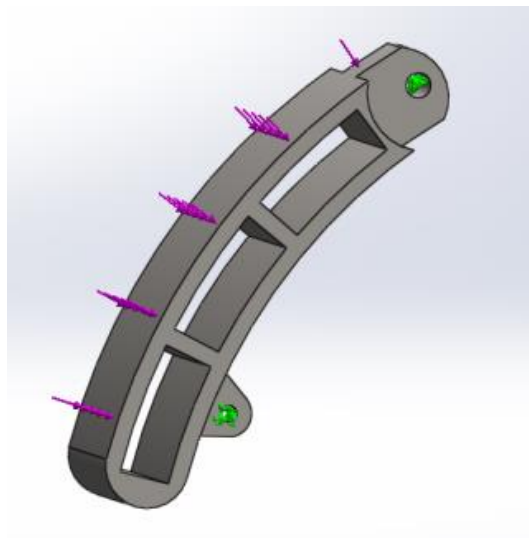


Рис. 10. Схема навантаження секції 4-х секційного перекриття

Результати дослідження занесені до табл. 3.

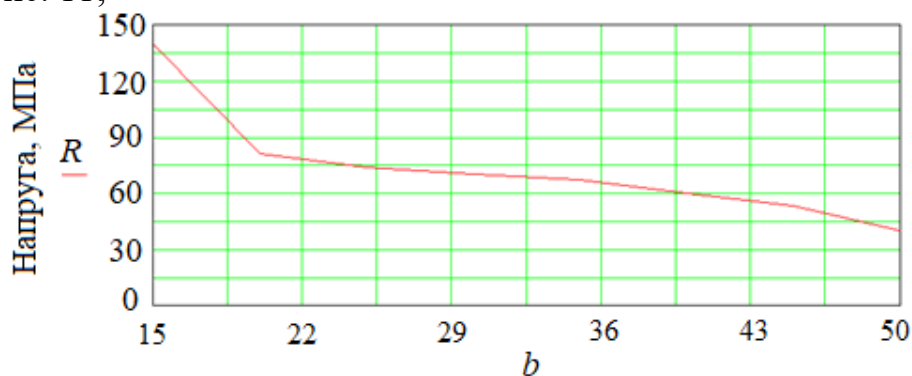
Таблиця 3

## Результати дослідження перекриття

Товщина перекриття, мм	50	45	40	35	30	25	20	15
Напруги, МПа	39	42	53	56	60	62	85	140
Переміщення, мм	0.02	0.1	0.13	0.19	0.28	0.43	0.89	2.1
Маса, кг	670	655	628	596	565	539	522	501

За отриманими даними побудуємо графіки:

а) графік залежності напруг від товщини перекриття та підреберного підкріплення рис. 11;



Товщина перекриття та підреберного підкріплення, мм

Рис. 11. Графік залежності напруг від товщини перекриття та підреберного підкріплення

б) графік залежності переміщення від товщини перекриття та підреберного підкріплення (рис. 12);

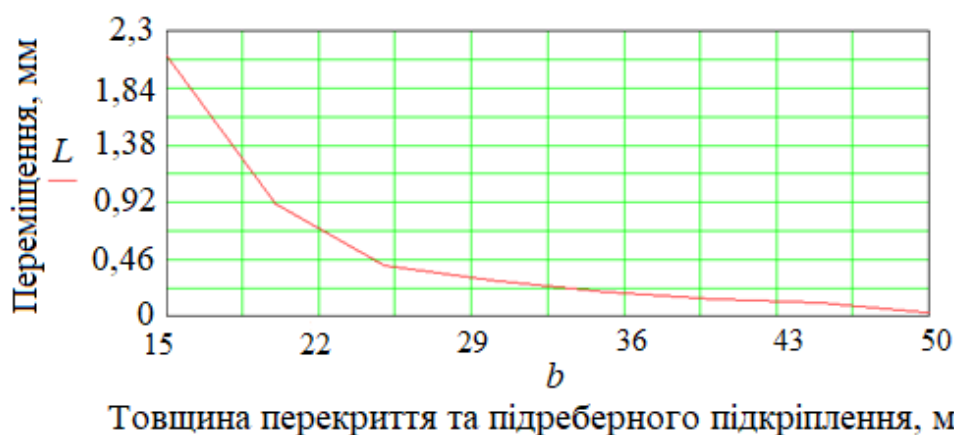


Рис. 12. Графік залежності переміщення від товщини перекриття та підреберного підкріплення

в) графік залежності маси від товщини перекриття та підреберного підкріплення (рис. 13).

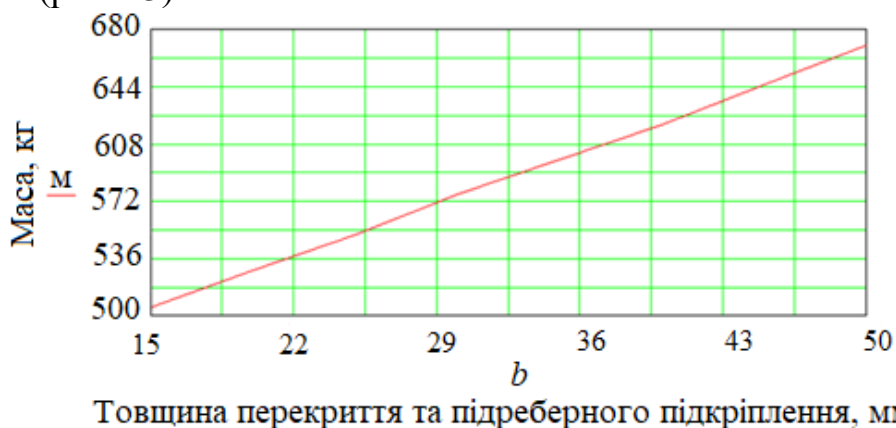


Рис. 13. Графік залежності маси від товщини перекриття та підреберного підкріплення

**Висновки.** На основі аналізу роботи прохідницького комбайну вибіркового типу з легкообрушуваною покрівлею. Наведено результати досліджень, направлених на конструктивне удосконалення комбайна. Складова частина якого може змінюватися в залежності від гірничо-геологічних умов роботи. Одержані параметри перевірені розрахунками та конструктивними рішеннями. Значно зменшується мінімальна маса кріплення, яка одночасно являється жорсткістю і міцністю конструкції. Отримані результати можуть бути застосовані при проходці тунелів метрополітену та інших аналогічних роботах, при будівництві авто- та залізничних доріг. Конструкція пристрою має можливість регулювання по висоті в залежності від стану кривлі виробки.

#### Перелік посилань

1. Лапшин, О. Є., Гацький, А.К., & Гацький, І. А. (2018). Розробка конструкції запобіжного рухомого кріплення при проведенні гірничих виробок. *Вісник Криворізького національного університету*, (47), 64-68.
2. Гацький, А. К., Лапшин О. Є., & Гацький І. А. (2015) *Патент України 103514*. Державне патентне відомство України.

3. Гамаюнов, В. В., Друцко, В. П., Гнезділов, В. Г., Алферов, Б. В., & Шаповал, Ю. С. (2004). Про напрямок розвитку технології спорудження горизонтальних та похилих гірничих виробок у складних гірничо-геологічних умовах. *Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. пр.*, 51, 92-102.
4. Табаченко, М.М., Дичковський, Р.О., & Фальштинський, В.С. (2012). *Довідник з гірничого обладнання діляниць вугільних і сланцевих шахт: Навчальний посібник*. Нац. техн. ун-т „ДП”.
5. Горбатов, П. А., Петрушкін, Г. В., & Лисенко, Н. М. (2006). *Гірничі машини для підземного видобутку вугілля*. Норд Ком'ютер.
6. Білецький В. С. (Гл. ред.). (2013). *Мала гірнича енциклопедія: Т. 3*. Східний видавничий дім.
7. Хоменко, О. Є., Кононенко, М. М., & Савченко, М.В. (2018). *Технологія підземної розробки рудних родовищ: Підручник*. Нац. техн. ун-т „ДП”.
8. Фелоненко, С.В. (2018). *Гірничі машини та комплекси вугільних шахт*. Нац. техн. ун-т „ДП”.
9. Бондаренко, В. І., Ковалевська, І. А., Симанович, Г. А., & Коваль, А. І. (2007) *Геомеханіка взаємодії елементів системи «породний масив-виїмкова виробка-охоронна конструкція»*. Монографія. Системні технології.

#### ABSTRACT

**Purpose.** To carry out the studies of proposed options for overlapping to support excavation roof and ensure roof maintenance to avoid collapse and protect people and mechanisms. To study a specified goal, an expert assessment of the existing tools to maintain roof rocks in the working area where people and mechanisms are engaged has been carried out.

**Methodology** consists in applying software and computer simulation of interaction processes of mining rocks with arched design options.

**Findings.** A short analysis of the most commonly applied structures to provide temporary fastening of preparatory and permanent mine workings has been carried out. The options for a roof design and the elements for temporary fastening are proposed. The parameters for four sectional overlapping have been substantiated. The loads acting on the roof-supporting structure and the coefficients required to determine the rock loads, the strength of some roof layers and "soil" as well as the forces in the rack hydraulic cylinder have been calculated.

**Originality.** Applying temporary arched fastening in the working area of a tunneling machine promotes reducing a number of technological operations and manual labor employment as well as enhancing maintenance personnel safety. The speed of tunneling works is supposed to increase.

**Practical value.** It is based on the analysis of a selective heading machine performance with an easily collapsed roof, study results to achieve a constructive machine improvement are presented. Its components may vary depending on mining and geological conditions of the work. The obtained parameters are verified by calculations and design solutions. The minimum mass of the fastening that provides both rigidity and strength of the structure is significantly reduced. Obtained results can be applied in underground tunneling and other similar works as well as in constructing roads and railways. The design of the device gives the possibility to adjust the height depending on the mine roof condition.

**Keywords:** *temporary arch fastening, sectional hydraulic fastening.*