

ДО ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК**О. В. Хоменчук, О. В. Хомчук, А. В. Сахневич**

Житомирський державний технологічний університет

вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005, Україна E-mail: khomenchuk@ztu.edu.ua

Розглянуто основні фактори, що впливають на стійкість підготовчих виробок вугільних шахт. Проаналізовано вплив співвідношення ширини виробки до її висоти на максимальний момент, що виникає у рамі металевого піддатливого кріплення у небезпечному перерізі. Методом імітаційного моделювання визначено співвідношення розмірів виробок, при яких максимальний згинаючий момент у рамі кріплення буде зменшуватися до нуля. Зроблено порівняння площ, що займає кріплення, і у світлі, а також металоемності кріплення стійкого типового перерізу та еквівалентного еліпсоподібної форми. Розглянуті питання стійкості кріплення та вибухобезпеки виробок еліпсоподібної форми. Сформульовані необхідні дослідження для обґрунтування технологічної схеми проведення пластових підготовчих виробок такої форми.

Ключові слова: напруження, момент, еліпс, переріз, металоемність, профіль.**К ПРОБЛЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК****О. В. Хоменчук, Е. В. Хомчук, А. В. Сахневич**

Житомирский государственный технологический университет

ул. Чудновская, 103, г. Житомир, 10005, Украина E-mail: khomenchuk@ztu.edu.ua

Рассмотрены основные факторы, влияющие на устойчивость подготовительных выработок угольных шахт. Проанализировано влияние соотношения ширины выработки к ее высоте на максимальный момент, возникающий в раме металлического податливого крепления в опасном сечении. Методом численного моделирования определены соотношения размеров выработок, при которых максимальный изгибающий момент в раме крепления будет уменьшаться до нуля. Сделано сравнение площадей, занимаемых крепью, и в свету, а также металлоемкости устойчивой крепи типового сечения и эквивалентного эллипсообразной формы. Рассмотрены вопросы устойчивости крепи и взрывобезопасности выработок эллипсообразной формы. Сформулированы необходимые исследования для обоснования технологической схемы проведения пластовых подготовительных выработок такой формы.

Ключевые слова: напряжение, момент, эллипс, сечение, металлоемкость, профиль.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На сьогоднішній день глибина, на якій здійснюються підземні гірничі роботи на більшості шахт Донбасу, сягає 1000 м і більше. На таких глибинах, у сукупності зі складними гірничо-геологічними умовами та впливом очисних робіт, напруження в зоні опорного тиску може перевищувати напруження у недоторканому масиві порід у декілька разів. Отже, слабкі і середньої міцності породи у приконтурному масиві при таких умовах руйнуються і потребують масивного кріплення, але, виходячи з невеликого середнього строку служби пластових підготовчих виробок і спираючись на швидке проведення очисних робіт та реологічні характеристики порід, здебільшого приймають піддатливе легке кріплення з СВП профілю. Під час відробки очисних полів суцільними системами розробки, коли за технічними або організаційними чинниками просування очисного вибою сповільнюється, час впливу опорного тиску на підготовчі виробки збільшується. Це призводить до зростання витрат на підтримання підготовчих виробок, значна частина яких складається з витрат на перекріплення та піддирку підшови.

Згідно з [1], більше половини всіх підготовчих виробок на шахтах України знаходяться у незадовільному стані і трудомісткість їх підтримання може сягати 85 % від трудомісткості підготовчих робіт, тому пошук нових технологічних рішень з проведення підготовчих виробок на великих глибинах є актуальною задачею.

Здимання підшови є насущною проблемою багатьох шахт, які розроблюють пласти вугілля зі слаб-

кими породами підшови [2], особливо при наявності водоприпливів. При намоканні тріщинуватих аргілітів, алевролітів, їхня міцність за шкалою Протод'яконова може зменшуватися до 1,5...2 одиниць, що значно впливає на інтенсивність здимання.

Для боротьби зі здиманням підшови запропоновано багато способів, серед яких є, як встановлення додаткових стояків кріплення по середині виробки, так і закріплення законтурного масиву порід гнучкими сталю-полімерними анкерами [3].

Єдиним найбільш поширеним заходом на сьогоднішній день, що дозволяє у деякій мірі знизити витрати на підтримання виробок, є застосування відповідних способів охорони, які в залежності від умов збільшують або втрачають вугілля, або трудомісткість, матеріаломісткість та енергоемність підготовчих процесів.

Перспективними способами охорони пластових виробок є способи, які ґрунтуються на проведенні додаткових розвантажувальних виробок та створенні зони розвантаження гірського тиску навколо виробки [4], що забезпечує перерозподіл опорного тиску від проведення виробки на більшу площу у глиб масиву. Єдиний недолік цього способу є збільшення зміщення покрівлі, тому виробки необхідно проводити задалегідь більшим перерізом.

Однією з причин виникнення здимання порід підшови є застосування аркової форми перерізу виробки з відносно великим прольотом. Прольот сучасних типових перерізів виробок, що закріплюються металевим піддатливим кріпленням, лежить у межах від 3 до 6 м. Співвідношення ширин цих ви-

бок до їх висот коливається від 1,28 до 1,56. Внаслідок вертикального навантаження у кутах виробки відбувається концентрація напружень, внаслідок чого слабкі породи не витримують і руйнуються з наступним видавлюванням у виробку. У пластичних породах стояки кріплення вдавлюються у підшву, яка вигинається під дією навантаження і поступово заповнює виробку. Застосування інших більш стійких форм перерізу, таких як аркова зі зворотнім склепінням, допомогло би значно підвищити стійкість підготовчих виробок.

Одним з факторів, який також заслуговує уваги, є вплив способу проведення виробки на її стійкість. Законтурний масив порід, який розтріскується внаслідок буро-підривних робіт, втрачає несучу здатність і потребує створення швидкого опору зі сторони кріплення, для запобігання екстремального зміщення порід у бік виробки. Для забезпечення первинної цілісності законтурного масиву порід, необхідно застосовувати контурне підривання зі складними зарядами спрямованої дії, які добре вивчені при утворенні стійких укосів виїмок [5] або відмовитися від буро-підривного способу.

Як відомо при комбайновому способі проведення, руйнування законтурного масиву відбувається у значно меншій мірі чим при буро-підривному, що значно впливає на інтенсивність зміщення порід, ймовірні вивали і, як наслідок, на загальну стійкість виробки. Проте, застосування комбайнів обмежується міцністю порід, так як при суцільному руйнуванні масиву міцних порід у межах контуру виробки, значно підвищується витрата різців і знижується загальна ефективність проведення. Нарешті, комбайнове проведення ускладнюється при проведенні похилих підготовчих виробок та потребує відносно високих капітальних вкладень при обмеженому ресурсі машини.

Наприкінці цього аналізу, слід зазначити, що зі зростом глибини збільшується відстані транспортування породної маси на поверхню і тому залишення її під землею набуває особливого значення. Окрім того, це підвищить екологічний рівень гірничих робіт і буде відповідати концепції сталого розвитку вугільної промисловості України.

Найбільш придатним з цієї точки зору є проведення пластової виробки широким вибоєм, хоча цей спосіб є більше трудомісткий та вимагає додаткового подрібнення порід, особливо при буро-підривному способі проведення.

Таким чином, на стійкість підготовчих виробок значно впливають наступні фундаментальні регульовані чинники: форма поперечного перерізу та спосіб проведення. Ці чинники взаємопов'язані між собою, але первинним є форма перерізу. Отже, на нього необхідно звертати пильну увагу при розробці нової технології проведення підготовчих виробок.

Метою роботи є визначення такого співвідношення ширини виробки до її висоти, при яких під час проведення підготовчих пластових виробок буде забезпечуватися необхідна стійкість, низька матеріалоемність, енергоемність, а також екологічність.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ. Як відомо, найбільш стійка форма виробки – це еліпс з

направленою великою віссю в напрямку напруження що переважає і зростає з глибиною пропорційно. Більш того, якщо відношення осей виробки з таким поперечним перерізом дорівнює відношенню початкових вертикального і бокового напружень недоторканого масиву, то така виробка буде мати максимальну стійкість [6].

Для вивчення стійкості системи «законтурний масив порід – кріплення» необхідно враховувати механічні властивості порід і кріплення, а також характер їхньої взаємодії. Проте, у слабких породах, несучою здатністю в основному нехтують, і розрахунки зводяться лише до підбору необхідного розміру профіля і кроку встановлення рам. Для цього визнаються розміри склепіння обвалення порід та напруження, що виникає у піддатливому кріпленні за загально прийнятими методиками, застосовуючи кут внутрішнього тертя, що «здається» [7]. З урахуванням сучасних досліджень [8], в яких зроблено висновок, що такий кут є ступеневою функцією від кута внутрішнього тертя, набуває актуальності дослідження характеру залежності такого показника ступеня від різних чинників. Тим не менш, в розрахунках кут внутрішнього тертя, що «здається» розраховувався як загальновідома функція арктангенсу с аргументом показника міцності порід за шкалою М.М. Протод'яконова.

Для досягнення поставленої мети зручно застосувати імітаційне моделювання напруження максимального моменту та осьового зусилля, що виникає у металевому піддатливому арковому кріпленні, яке встановлене з кроком 1,0 м у виробках з різними розмірами та різними глибинами закладання. При цьому вважається, що виробка проводиться в однорідних породах, а кріплення сприймає навантаження від бокових порід одразу після зведення.

Позначимо співвідношення ширини виробки b з максимальною стійкістю до її висоти h як ζ . За критерій правильності розрахунків приймемо максимальний згинаючий момент у небезпечному перерізі рамного піддатливого кріплення M_{max} [9], який буде рівний нулю, і, відповідно у кріпленні буде переважати осьове зусилля стискання.

Методом підбору знайдемо такі значення ζ , при яких для заданої глибини та міцності порід згинаючий момент у небезпечному перерізі кріплення буде наближатися до нуля.

На рис. 1 зображено M_{max} (1) при різних ζ , глибині закладання виробки 1000 м та міцності порід $f = 3$. Як видно з рисунка, при відповідному значенні $\zeta = 0,369$, M_{max} дорівнює нулю, коли момент від вертикального навантаження компенсується моментом від бокового розпору. Стрімке зростання M_{max} з подальшим зменшенням ζ менше 1:2,71 обумовлюється переваженням бокового розпору.

Зі зростом ζ зростає M_{max} , який сягає свого максимального значення -144,452 кН·м при $\zeta = 0,697$. При подальшому зростанні ζ спостерігається зменшення M_{max} та осьового зусилля, внаслідок зменшення бокового тиску. При максимально можливо-му відношення $\zeta = 2$, коли переріз виробки являє собою півколо, $M_{max} = -54,15$ кН·м. Далі у верхній

частині арки з'явиться прямолінійна частина, внаслідок чого M_{max} почне знову зростати зі знаком «мінус» (див. рис. 1), але для правильного визначення його значення необхідно використовувати іншу методику. Таким чином, M_{max} може бути нульовим лише в одній точці $\zeta = 0,369$.

Результати моделювання для інших міцностей та глибин представлені на рис. 2, де зображено характеристики залежностей співвідношення ζ від глибини закладання виробки, при яких спостерігається нульовий згинаючий момент, для порід з $f=2$; 3; 4; та 5.

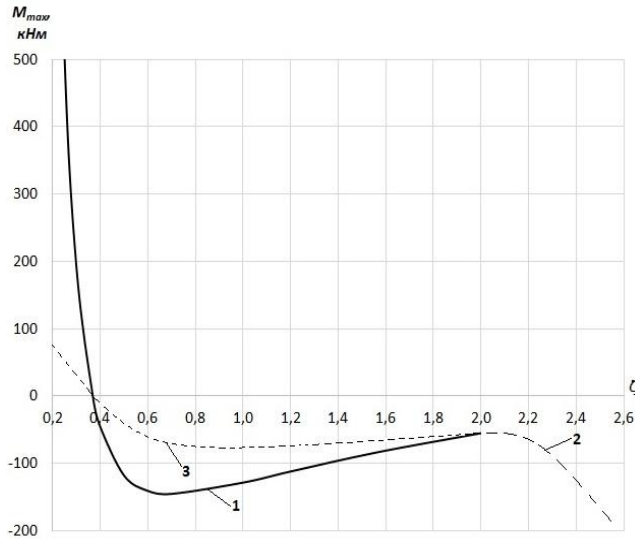


Рисунок 1 – Максимальний згинаючий момент у небезпечному перерізі кріплення виробки на глибині 1000 м: 1 – розрахунковий згинаючий момент M_{max} ; 2 – прогнозований характер зміни моменту при появі прямолінійної ділянки у верхній арці кріплення; 3 – прогнозований характер зміни моменту при додаванні горизонтальних розпірок

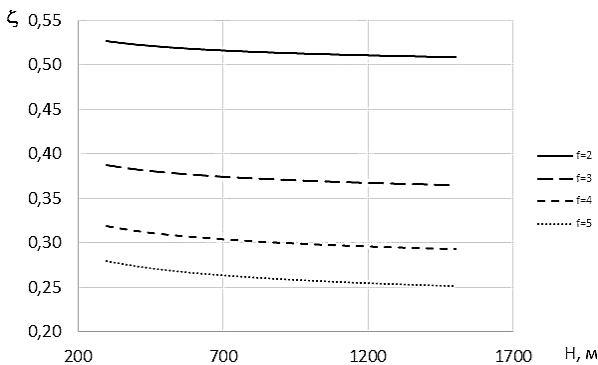


Рисунок 2 – Співвідношення ширини виробки аркової форми до її висоти, при яких $M_{max} = 0$

Як видно з рис. 2, ζ змінюється з глибиною та міцністю порід майже лінійно, і при $f=2$ коливається від 0,508 до 0,526 при глибинах 1500 і 300 м відповідно. При $f = 5$ ζ змінюється від 0,251 до 0,279 в тому ж діапазоні глибин. У такому випадку, для забезпечення діапазону еквівалентних за площею

перерізів виробок у проходці S_{np} від 9 до 23 м², що застосовуються сьогодні, необхідно зменшувати ширину виробок та збільшувати їхню висоту.

Визначимо розміри еквівалентних виробок на глибині 1000 у породах з $f=2$. Для цього використаємо систему рівнянь:

$$b = 2 \sqrt{\frac{2S_{np}\zeta}{8+\zeta(\pi-4)}}, \quad h = \frac{b}{\zeta} \quad (1)$$

Результати розрахунку представлені у табл. 1.

Таблиця 1 – Розміри еквівалентних перерізів виробок

Переріз виробки $S_{np}, \text{ м}^2$	Глибина 1000 м	
	$b, \text{ м}$	$h, \text{ м}$
9,1	2,22	4,34
10,4	2,37	4,64
11,0	2,44	4,77
12,7	2,62	5,12
13,3	2,68	5,24
16,1	2,95	5,77
17,6	3,09	6,03
18,5	3,17	6,18
20,6	3,34	6,52
25,0	3,67	7,21

Як видно з таблиці такі розміри перерізів неможливо забезпечити існуючими металевими арками з СВП профілю, що виготовлюються промислово, так як найменша арка з профілю № 17 вільно розміщується лише в одноколіній виробці типового перерізу з розмірами 3,67x2,86 м. Проте, при застосуванні перерізів еліпсоподібної форми, ширина та висота еквівалентного перерізу буде збільшуватися, і останній переріз набуде відповідних розмірів, що наведені у табл. 2.

У табл. 2 наведено порівняння технічних показників типового та еквівалентного еліпсоподібного перерізів закріплених різними металевими профілями у однакових умовах: $f=2$, глибина закладання виробки – 1000 м; середня об'ємна вага порід – 1950 кг/м³, крок встановлення рам кріплення – 0,5 м. У якості кріплення еквівалентного перерізу розглядалися звичайна та зворотна металеві арки з додаванням проміжних стояків довжиною 2,44 м з урахуванням напусків, і без горизонтальних розпірок. Профіль кріплення обирався таким чином, щоб максимальне напруження у ньому не перевищувало гранично допустимого. В результаті підрахунків визначено, що для кріплення еліпсоподібного перерізу виробки з зазначеними параметрами проведення, вистачить профілю СВП № 27, а для забезпечення стійкості типового аркового перерізу необхідно застосовувати важкий широкополковий двотавр № 60ШЗ з висотою профіля 589 мм та питомою вагою 170,7 кг/м. Проте, виготовлення арок піддатливого кріплення з такого профіля навряд можливо, внаслідок непружних деформацій, які будуть виникати у профілі під час його виготовлення.

Таблиця 2 – Порівняння технічних показників перерізів звичайного та еквівалентного еліпсоподібного

Переріз виробки $S_{np}, \text{м}^2$	Еквівалентний еліпсоподібний					Типовий переріз				
	$b, \text{м}$	$h, \text{м}$	$S_{св}, \text{м}^2$	$S_{кр}, \text{м}^2$	$M_{кр}, \text{т/м}$	$b, \text{м}$	$h, \text{м}$	$S_{св}, \text{м}^2$	$S_{кр}, \text{м}^2$	$M_{кр}, \text{т/м}$
20,6	3,66	7,16	16,92	3,08	0,6	5,92	4,10	12,60	7,40	2,16

Як видно з табл. 2, застосування еліпсоподібного перерізу дозволяє зменшити витрату металу $M_{кр}$ при проведенні виробок у 3,6 рази, а також збільшити площу виробки у світлі $S_{св}$ у 1,34 рази за рахунок зменшення площі кріплення $S_{кр}$ у 2,4 рази. Останнє дозволить зменшити трудомісткість зведення кріплення та підвищити продуктивність прохідників на вихід у кубічних метрах готової виробки у світлі більше ніж у 1,34 рази.

Відносно інших менших перерізів, що представлені у табл. 1, необхідні арки нових розмірів можуть бути виконані з більш легкого профілю, такого як СВП № 14 або профільної труби, що значно підвищить опір рами на кручення. Враховуючи підвищення стійкості еліпсоподібної форми перерізу виробки, з'являється можливість застосування у слабких породах облегшених видів кріплення, таких як анкерне та фібробризокбетонне, які дозволять ще більше знизити трудомісткість та вартість проведення виробки [10]. Проте, залишаються відкритими питання пов'язані з визначенням можливого часу оголення порід у виробках такої форми.

Одним з головних питань, що виникає, є стійкість самого кріплення, тому що при відхиленні ζ від нульового значення лише на $\pm 5\%$, для характеристики, зображеної на рис.1, у профілі кріплення виникає момент зі значеннями від -27,897 кН до +35,47 кН. Проте, можливі ще більші коливання, коли, наприклад, ширина виробки зменшується на 5%, а висота виробки збільшується на 5%, і навпаки. Така різка зміна у навантаженні можлива при буропідривної технології проведення виробки у наслідок переборів порід. В такому випадку, момент може змінюватися від -53 кН до +74 кН, і при таких значеннях призведе до непружної деформації і руйнування профіля кріплення. Для усунення такої небезпеки, боковий розпір може бути компенсований горизонтальними розпірками у центрі виробки. Хоча це підвищує вагу однієї рами приблизно на 15%, при застосуванні такого ж профілю для виготовлення розпірок, як і при виготовленні рами, але змінює характер зміни M_{max} в залежності від розмірів виробки на більш плавний (див. рис. 1), і дозволяє привести раму кріплення до більш стійкого стану. Тим не менш, для виготовлення розпірок у виробках з великими прольотами, ймовірно, необхідно використовувати інший профіль, стійкість якого, а також всієї системи можуть бути вивчені шляхом моделювання за допомогою методу кінцевих елементів з використанням ЕОМ та прикладних програм.

Іншим питанням, що виникає, є те що застосування високих перерізів накладає свої умови на застосування транспортного обладнання, оскільки для забезпечення безпечних зазорів при використанні транспортного обладнання, вже може не ви-

стачати ширини виробки, і різне обладнання необхідно розташовувати у декілька поверхів. Наприклад, конвеєр може бути розташований на підшві виробки, а монорейкова колія може підвішуватися до покрівлі, але у такому випадку, для забезпечення безпеки робіт, необхідно робити штучне перекриття між поверхами, для підтримки якого можна використовувати горизонтальні розпірки. Другим варіантом може бути підвішування конвеєра до покрівлі, та застосування рейкової колії на підшві виробки. В такому випадку ускладнюється обслуговування конвеєра, що також вимагає утворення перекриття між поверхами. Проте, в обох випадках відокремлення конвеєра від іншого обладнання забезпечить більшу безпеку праці.

Як відомо, у конвеєрних виробках найчастіше відбуваються вибухи газо-пило-повітряних сумішей [11], тому, з іншого боку, відокремлення конвеєра від іншого обладнання, ймовірно, дозволить підвищити вибухобезпеку таких виробок. Окрім того, з підвищенням глибини розробки вугільних пластів, зростає актуальність початкового видобутку метану з пластів, як додаткового прибутку. З цієї точки зору, відокремлення конвеєра від іншої частини виробки, дозволить також збирати метан, який виділяється під час транспортування вугілля по виробці. Проте, це питання необхідно вивчити комплексно як з точки зору вибухобезпеки, так і кінцевої вартості одного метра готової виробки з урахуванням додаткового прибутку від реалізації видобутого газу та економії металу під час проведення виробки.

Нарешті, розташування виробки відносно пласта також впливає на її стійкість. Високий переріз виробки дозволить у певній мірі віднести зони концентрації напружень у глибоку масиву відносно пласта.

Наприкінці, залишається невіршеним комплекс питань пов'язаних з обґрунтуванням технологічної схеми механізованого проведення такої виробки вузьким або широким вибоєм, її обслуговування та з'єднання з іншими виробками.

ВИСНОВКИ. Таким чином, застосування еліпсоподібної форми перерізу підготовчої виробки площею 20,6 м², проведеної замість типового аркового перерізу такої ж площі у породах з $f=2$ та середньою об'ємною вагою порід 1950 кг/м³ на глибині 1000 м, при кроці встановлення рам кріплення 0,5 м, значно знижує навантаження, що припадає на одну раму кріплення, і дозволяє знизити металоємність у 3,6 рази, і підвищити продуктивність прохідників на вихід у кубічних метрах готової виробки у світлі більше ніж у 1,34 рази. Проте, необхідно додатково вивчити стійкість самого кріплення із застосуванням горизонтальних розпірок.

Для забезпечення менших еліпсоподібних перерізів кріпленням необхідно:

– вивчити можливість застосування інших металевих профілів для виробництва елементів кріплення;

– вивчити стійкість оголених порід у виробках еліпсоподібної форми закріплених фібробрикетом.

Для реалізації форми перерізу підготовчих виробок з найбільш стійким відношенням ширини виробки до її висоти, необхідно вирішити ряд питань, пов'язаних та обґрунтованих технологічною схемою її проведення вузьким або широким вибоєм із застосуванням засобів механізації та вибухобезпекою.

ЛІТЕРАТУРА.

1. Астаф'єв Д. О. До питання охорони виробок, що використовуються повторно при селективній технології видобування вугілля. *Розробка родовищ*: Зб. наук. пр. Дніпропетровськ: НГУ, 2014. Т. 8. С. 137–141.
2. Снигур В. Г. Закономерности пучения пород почвы пластовых выработок. *Уголь Украины*. 2014. № 7. С. 3–5.
3. Спосіб підвищення стійкості гірничої виробки з породами підосви, що схильні до здимання: пат. 92538 Україна : МПК E21D 20/00. № а200901053 ; заявл. 10.02.2009 ; опубл. 10.11.2010, Бюл. № 21.
4. Спосіб охорони гірничих виробок: пат. 96512 Україна : МПК (2011.01) E21D 11/00. № а201004575 ; заявл. 19.04.2010 ; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 21.
5. Юрко О. О. Сучасні методи перерозподілу енергії і керування дією вибуху для ефективного використання контурного підризу. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету* ім. М. Остроградського. Сер. Технічні науки. 2007. Вип. 5/2007 (46). Ч 1. С. 79–82.
6. Шишиц И. Ю. Геоэкологические аспекты технологических воздействий на защитные функции вмещающих пород : монография. М.: МГГУ, 2010. 160 с.
7. Мілевич В. М., Бакка М. Т. Практикум з технології розробки родовищ корисних копалин підземним способом: навч. посіб. Житомир: ЖДТУ, 2004. 243 с.
8. Борозенец Л. М. Научное обоснование физической, механической и математической сущности угла внутреннего трения грунта. *Вестник Южно-Уральского государственного университета*. Сер. Строительство и архитектура. 2017. № 2. С. 27–31.
9. Нонік Л. Ю., Хоменчук О. В. Аналітичне визначення розмірів підземних виробок аркової форми з мінімальним згинаючим моментом в небезпечному перерізі профілю кріплення. *Розробка родовищ корисних копалин. Маркшейдерське забезпечення геотехнологій* : матеріали Всеукр. науково-практичної он-ліне конф. аспірантів, молодих учених та студентів, присв. Дню науки, 16-18 травня 2018 р. Житомир : ЖДТУ, 2018. С. 199.
10. Березюк Р. М., Хоменчук О. В. Застосування полегшених типів кріплення для забезпечення стійкості підготовчих виробок. *Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів*: Зб. тез. – Житомир : ЖДТУ, 2016. С. 40–45.
11. Шевцов Н. Р. Взрывозащита горных выработок (курс лекций): Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. Донецк : ДонНТУ, 2002. 280 с.

TO THE PROBLEM OF SUPPORTING STABILITY OF DEVELOPMENT WORKINGS

O. Khomenchuk, O. Khomchuk, A. Sahnevych

Zhytomyr State Technological University

vul. Chudnovskaya, 103, Zhitomir, 10005, Ukraine E-mail: khomenchuk@ztu.edu.ua

Purpose. To determine such ratios of the mine workings width to its height, at which will be provided the necessary stability, low material content, energy intensity, as well as environmental friendliness during the in-seam workings development. **Methodology.** It has been applied the simulation modeling of the maximum torque stresses and the axial force stresses that arises in the compressible metal support of workings with different sizes at different depths taking into account rock properties, homogeneous rocks and load accommodation by the support immediately after erection. **Results.** It has been obtained the characteristics of the ratio dependence of the width of the mine working with stable cross-section to its height, depending on the depth and strength of the rocks. It has been made a comparison of the rough sections, as well as the neat workings areas, load bearing abilities and specific quantities of metal of the supports of both cross-section the typical and equivalent ellipsoid-shaped of the same area. Applying ellipsoid-shaped cross-section development working with an area of 20.6 m² that is constructed instead of the typical arcwall cross-section of the same area in rocks with $f = 2$ and the average unit specific gravity of 1950 kg / m³ at a depth of 1000 meters, with frame pitch of 0,5 meters, reduces significantly the load per one support frame and reduces metal consumption by 3.6 times and increases drifters productivity per shift in cubic meters of constructed development working inside timbers of more than 1.34 times. The necessary researches have been formulated to substantiate the process flow diagram of in-seam development workings construction of this form and them explosion safety. **Originality.** For the first time applied the term of the equivalent cross-section for making comparison of the rough sections, as well as the neat workings areas, and the total metal consumption for the compressed frame support erection. **Practical value.** It has been proposed the compressed frame support construction, for the manufacture of which industrially metal support is enough. The schemes of transport equipment arrangement in development working of ellipsoid shape have been developed. References 11, tables 2, figures 2.

Key words: tension, moment, ellipse, cross section, metal consumption, profile.

REFERENCES

1. Astaf'jev, D. O. Do pytannja ohorony vyrobok, shho vykorystovujut'sja povtorno pry selektyvnij tehnologii' vydobuvannja vugillja. Rozrobka rodovyshh, 2014, no. 8, pp. 137-141. (In Ukrainian).
2. Snigur, V. G. Zakonomernosti puchenija porod pochvy plastovykh vyrabotok. Ugol' Ukrainy, no. 7, pp. 3-5. (In Russian).
3. Patent of Ukraine 92538, MPK (2009) E21D 20/00. Sposib pidvyshhennja stijkosti girnychoi' vyrobky z porodamy pidoshvy, shho shylni do zdymannja / Shashenko, O. M., Solodjankin, O. V., Tereshhuk, R. M.; declared. 10.02.2009, published. 10.11.2010, no. 21. (In Ukrainian).
4. Patent of Ukraine 96512, MPK (2011.01) E21D 11/00. Sposib ohorony girnychych vyrobok / Kas'jan, M. M., Sahno, I. G.; declared. 19.04.2010, published. 10.11.2011, no. 21. (In Ukrainian).
5. Jurko, O. O. Suchasni metody pererозpodilu energii' i keruvannja dijeju vybuhu dlja efektyvnogo vykorystannja konturnogo pidryvu. Visnyk KDPU, 2007, no. 46, pp. 79- 82. (In Ukrainian).
6. Shishchits, I. Yu. Geoekologicheskie aspekty tekhnologicheskikh vozdeystviy na zashchitnye funktsii vmeshchayushchikh porod. Moscow: MGGU Publ., 2010. 160 p. (In Russian).
7. Milevych, V. M., Bakka, M. T. Praktykum z tehnologii' rozrobky rodovyshh korysnykh kopalyn pidzemnym sposobom. Zhytomyr: ZhDTU Publ., 2004. 243 p. (In Ukrainian).
8. Borozenets, L. M. Nauchnoe obosnovanie fizicheskoy, mekhanicheskoy i matematicheskoy sushchnosti uglja vnutrennego treniya grunta. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura, 2017, no. 2, pp. 27–31. (In Russian).
9. Nonik, L. Ju., Khomenchuk, O. V. Analitychne vyznachennja rozmiriv pidzemnykh vyrobok arkovoi' formy z minimal'nym zgynajuchym momentom v nebezpechnomu pererizi profilju kriplennja. Rozrobka rodovyshh korysnykh kopalyn. Markshejders'ke zabezpechennja geotehnologij: materialy Vseukr. naukovo-praktychnoi' on-line konf. aspirantiv, molodykh uchenykh ta studentiv, prysv. Dnju nauky, ZDTU, Zhytomyr, 2018, pp. 199. (In Ukrainian).
10. Berezjuk, R. M., Rhomenchuk, O. V. Zastosuvannja polegshenykh typiv kriplennja dlja zabezpechennja stijkosti pidgotovchych vyrobok. Perspektyvy rozvytku girnychoi' spravy ta racional'nogo vykorystannja pryrodnykh resursiv. Zb.tez, Zhytomyr: ZhDTU, 2016, pp. 40-45. (In Ukrainian).
11. Shevtsov, N. R., Vzryvozhachita gornykh vyrabotok (kurs lektsiy): Uchebnoe posobie dlya vuzov, Donetsk: DonNTU Publ., 2002. 280 p. (In Russian).

Стаття надійшла 21.05.2018.