

ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ АНКЕРНОГО КРІПЛЕННЯ

Багаторічний досвід використання анкерного кріплення показав, що цей тип кріплення може використовуватись в широкому діапазоні гірських порід за міцністю і їх структурній будові, як самостійно, так і в сполученні з кріпленням підтримуючого типу, набризкбетоном та монолітним бетоном.

В залежності від структурної будови порід покрівлі і форми виробки розрізняють п'ять основних умов використання анкерного кріплення:

- слабкостійкі шаруваті породи безпосередньої або «хибної» покрівлі, що підвішуються анкерами до основної покрівлі;
- різні породні шари, скріплені анкерами, утворюють складну композитну балку, яка запобігає обваленню покрівлі (випадок «зшивки»);
- навколо кожного анкера шматки тріщинуватої породи притискаються один до одного, утворюючи міцний блок. В цьому випадку по периметру виробки за допомогою анкерів складається кільце таких блоків, підтримуючих один оден, як у кам'яній арці;
- у тріщинуватій однорідній гірській породі великої потужності анкерне кріплення виконує запобіжну функцію щодо вивалів окремих шматків при розкритті природних тріщин під дією гірського тиску;
- при проведенні виробки по дуже тріщинуватому шаруватому масиву з контуром, співпадаючим з склепінням природної рівноваги, анкерне кріплення запобігає висипанню і корінню гірських порід.

Відомо більше 300 різновидів анкерного кріплення, які відрізняються способом закріплення, матеріалом і конструктивним виконанням [1]. Розрізняють анкери з закріпленням анкерів в донній частині шпура за допомогою різних механізмів, замків і по всій довжині або значної його частині хімічними речовинами на основі синтетичних смол, цементними розчинами, за допомогою енергії вибуху. Схема анкеру з механічним замком наведена на рис.1. Найбільш поширені механічні анкери типу ШК, АК-8, АД-1, АР-2, ЕС-2 тощо.

Використовують також розпірні, набивні, полімер бетонні і напружені анкери (рис.2).

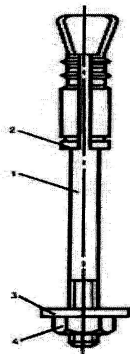


Рисунок 1 — Схема анкеру з механічним замком: 1 — анкер; 2 — напівмуфта; 3 — опорна плита; 4 — натяжна гайка.

Схему закріплення анкера за допомогою органічних смол показано на рис.3.

Останнім часом розроблено сталеполімерні анкери з несучою здатністю від 250 до 1000кН.

З 1997 року на шахтах України почала реалізовуватись програма «Анкер». Широко використовується анкерування покрівлі при проведенні виробок на АП «Шахта ім. А.Ф. Засядько», ш/у «Покровське», шахта «Трудовська» та ін.

Але останнім часом гостро стало питання про ефективність даного способу кріплення. Для моніторингу зміщень на шахті ім. А.Ф. Засядько було встановлено замірні станції у 17-м західнім конвеєрнім штреку пласта m_3 . Глибина установки реперів 2,4 м, а також від 5,5 до 8,1 м. Фактичний коефіцієнт зменшення зміщень склав від 0,32 до 0,56. Ефект анкерування по довжині виробки нерівномірний.

При використанні анкерного кріплення залишається гострим питання кріплення штреків попереду очисного вибою в зоні опорного тиску і на сполученні з ним.

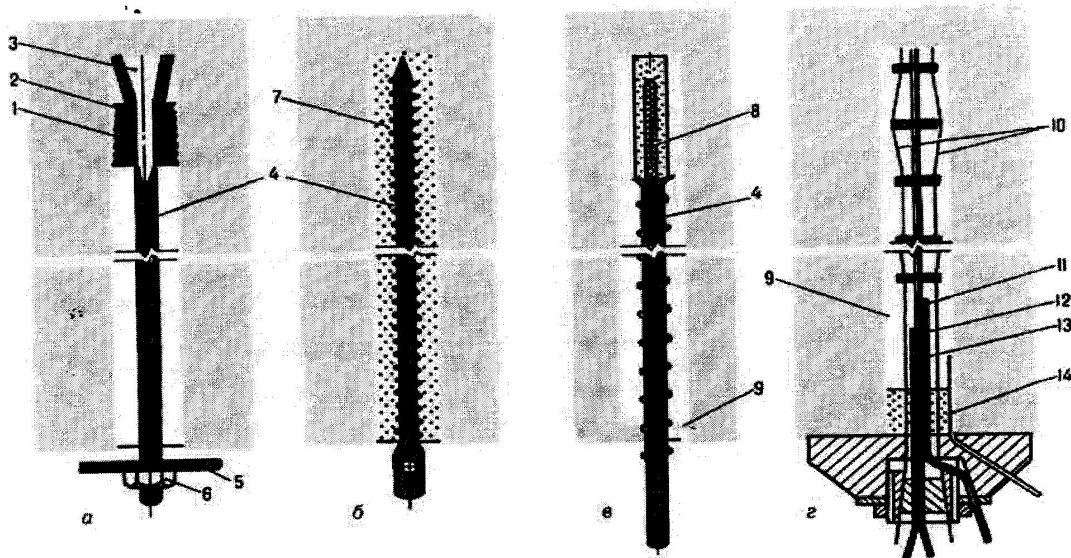


Рисунок 2 – Схема встановлення в шпурі розпирного (а), набивного (б), полімер бетонного (в) і напруженого (г) анкерів: 1- дротяне кільце; 2 – розпирна муфта; 3 – клин; 4 – анкер; 5 – опорна плита; 6 – гайка; 7 – цементний розчин; 8 - ампула зі смолою, піском і затверджувачем; 9 – ущільнююче кільце; 10 – пучок міцного дроту; 11 – трубка для вторинного нагнітання розчину; 12,13 – трубки для виходу розчину і повітря; 14 – трубка для первинного нагнітання розчину.

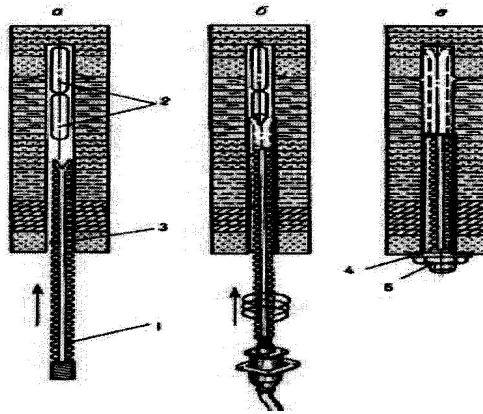


Рисунок 3 – Схема закріплення анкеру хімічними речовинами: а – введення анкеру в шпур; б – перемішування речовин в шпурі; в- закріпленій анкер з опорною плитою; 1- анкер; 2- ампули з хімічним закріплювачем; 3 – ущільнююче кільце; 4 – опорна плита; 5 – натяжна гайка.

Процес деформування масиву, вміщуючого гірничі виробки з рамно-анкерним кріпленням, здійснюється в наступній послідовності. В період проведення виробки, після встановлення рамного кріплення до моменту встановлення анкерів, утворюється зона миттєвого руйнування і перерозподіл напружень, що призводить до розвитку фронту руйнування від контуру виробки вглиб масиву. Після установки анкерного кріплення руйнування масиву уповільнюється, аж до моменту утворення несучої породно-анкерної конструкції. Після цього розшарування порід поблизу контуру зупиняється, а утворена породно -анкерна конструкція сумісно з рамним кріпленням сприймає на себе навантаження від розпушених порід, стримуючи розвиток фронту руйнування вглиб масиву і зміщення порід в напрямку контуру виробки.

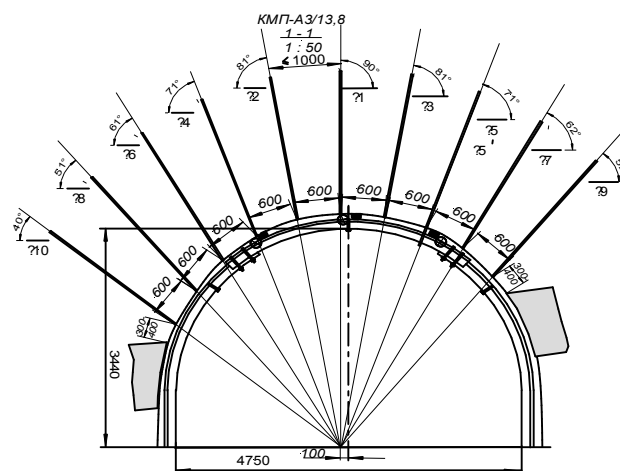


Рисунок 4 – Паспорт кріплення 2-го західного конвеєрного штреку шахти ім.. Засядько

В основному шахти посилюють кріплення підготовчих виробок за допомогою гідравлічних стоек або дерев'яних ремонтин, а на сполученнях використовують механізоване кріплення. До недоліків даних схем можна віднести:

- зменшення робочого простору на сполученні очисного вибою з штреками;
- велика трудоемність зведення посилюючого кріплення;
- трудність доставки матеріалів до сполучення очисного вибою зі штреками;
- порушення суцільності порід покрівлі механізованим кріпленням сполучення, що особливо важливо при повторному використанні виробки.

Для підтримання сполучень пропонується зведення канатних анкерів АК01 без посилюючого кріплення і механізованого кріплення сполучення (рис.6). Анкери АК01 можуть бути успішно використані в якості посилюючого кріплення у виробках з рамним, рамно-анкерним і анкерним кріпленням [10-12]. При цьому суттєво зменшуються прояви випереджаючого опорного тиску від очисного вибою, утворюються безпечні і комфортні умови для проведення робіт на сполученнях очисного вибою з штреками, а також проходу людей і транспортування обладнання, значно зменшується трудоемність кінцевих операцій.

В умовах ПАТ «Шахтоуправління «Покровське» проведені випробування канатних анкерів глибокого закладення у 3-му південному конвеєрному штреку блоку 10, який використовується як вентиляційний штрек при відробці 4-ї південної лави блоку 10. Початок експериментальної ділянки розташований на ПК153 + 4,7м, кінець - на ПК166 + 0,3м, що складає 134м.

Ціллю експерименту є кількісна і якісна оцінка ефективності використання нового кріплення у вигляді трьох посилюючих канатних анкерів, які встановлюються у покрівлю виробки. Центральний канат має довжину 7м, два периферійних по 5м. Анкери встановлені у склепінну частину виробки, відстань між анкерами в ряду складає 1 -1,2м, а вздовж виробки 0,67м. Канатні анкери встановлені між рамами основного кріплення і закріплені у кінцевій частині однією полімерною швидкотвердіючою ампулою і несуть навантаження не менше 200кН (20 т). Під головки периферійних анкерів встановлені підхвати у вигляді відрізків спецпрофілю. Під центральні анкери встановлені суцільні прогони з того ж спецпрофілю. На всій довжині експериментальної ділянки ще при проведенні виробки встановлено в покрівлю виробки 5-6 сталеполімерних анкерів довжиною 2,4м. Результати інструментальних спостережень за проявами гірського тиску на експериментальній ділянці наведено на рис.7.

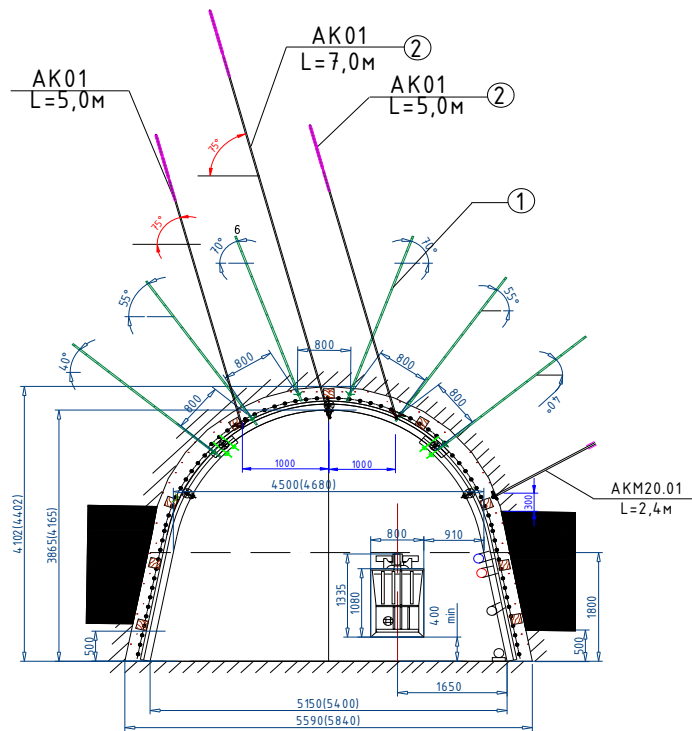


Рисунок 6 – Перетин 3-го південного штреку на експериментальній ділянці:

1 – анкери першого рівня (сталеполімерні анкери, $L=2,4\text{м}$); 2 – анкери другого рівня (канатний анкер глибокого закладення, $L=7\text{м}$).

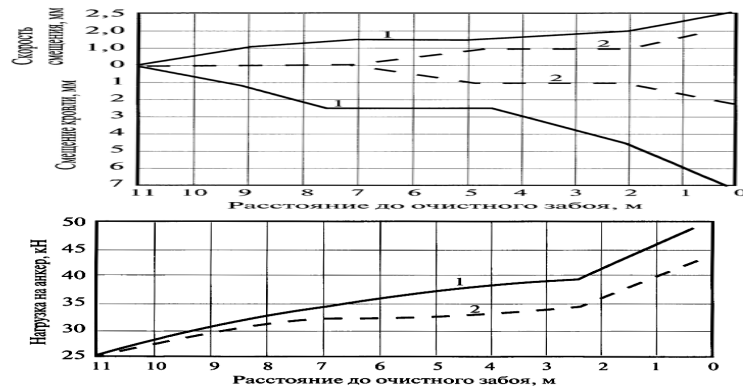


Рисунок 7 – Зміщення покрівлі штреку:

а – на сполученні з очисним вибоєм: 1 – на глибині 1м; 2 – на глибині 2м;
б – приріст навантаження на анкерне кріплення: 1 – по верхньому борту штреку; 2 – по нижньому борту штреку.

Основне анкерне кріплення, встановлене в покрівлі одразу після оголення, перешкоджає розшаруванню і деформаціям зсуву. Штанги кріплення зазнають максимальних розтягуючих зусиль. Тому у виробках, проведених навіть поза зоною впливу очисних робіт, на відміну від вимог діючих нормативних документів, повинні встановлюватись демпферуючі елементи з конструктивною піддатливістю не менше 40 мм.

Виробки, що використовуються повторно, в зоні впливу очисних робіт

закріплюються додатковим кріпленням. В період проведення виробки встановлюється перший рівень анкерного кріплення з довжиною анкерів 2,0-2,4 м, який забезпечує формування пружної шаруватої балки. Другий рівень анкерного кріплення з довжиною анкерів 3 м і більше встановлюється на відстані 0,1Н до першої лави. При цьому варіанті використання посилюючих гідравлічних стоек зменшується на 80%. Шахтні спостереження показали, що іноді в зоні впливу очисних робіт підпорні стійки все ж встановлюються. Це пов'язано з тим, що анкерне кріплення другого рівня встановлюється в виробках, що використовуються повторно, і мають в покрівлі і боках деформовані поро ди. Шаруваті породні товщі покрівлі при збільшенні зміщень втрачують свою несучу здатність. Цю обставину треба враховувати при розрахунку параметрів анкерного кріплення шляхом введення коефіцієнта підвищення несучої здатності кріплення. Значення цього коефіцієнта для анкерів другого рівня складає 1,1-1,6 і приймається в залежності від величини зміщень порід покрівлі в період між встановленням анкерного кріплення першого рівня і другого рівня.

Консолідована несуча здатність системи «шаруватий масив – дворівневе піддатливе анкерне кріплення глибокого закладення» в значній мірі залежить від розмірів призм сповзання в боках виробки. Для визначення механізму деформування порід в боках виробок і параметрів анкерного кріплення, що встановлюється в боках, визначаються зусилля бокового розпору і довжина анкеру:

$$P = R + q - F_{mp} \quad (1)$$

де R – сили бокового розпору;

$$R = (K_o \gamma H_c) \cdot \lambda h_e \quad (2)$$

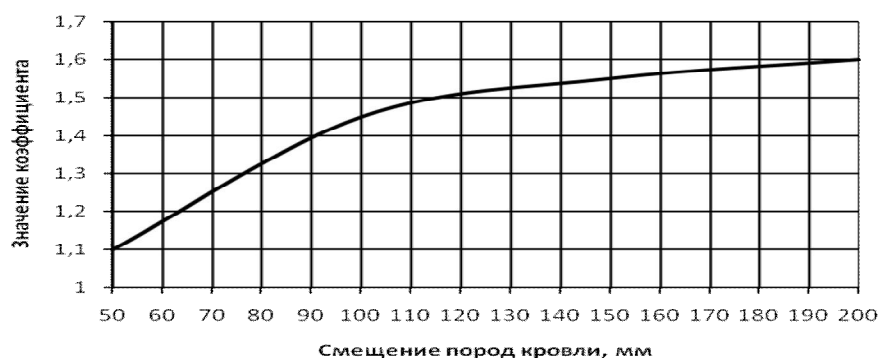


Рисунок 8 – Залежність зниження несучої здатності породної товщі від зміщень

K_o - коефіцієнт концентрації опорного тиску;

γ - середня питома вага порід масиву;

H - глибина розташування виробки від поверхні;

λ - коефіцієнт бокового розпору;

h_e - висота виробки.

Сили тертя F_{mp} перешкоджають віджиму зруйнованих порід в боках виробки і визначаються

$$F_{mp} = P \left[\exp\left(\frac{2f_{mp} \cdot l_p}{\lambda \cdot m_g}\right) - 1 \right] \quad (3)$$

де P - опір кріплення віджиму;

f_{mp} - коефіцієнт тертя пласта з породами покрівлі і підшви;

l_p - глибина зони зруйнованих порід в боках виробок;

m_g - потужність зруйнованих порід в боках виробки.

Максимальне значення сили віджатих порід у виробку q визначається

$$q = \gamma_y l_p h_g \lambda, \quad (4)$$

де γ_y - питома вага зруйнованих порід в боках виробки.

Необхідний опір анкерного кріплення в боках виробки можна визначити по формулі

$$P = \frac{[(K_o \gamma H - \sigma_c) \cdot \lambda + \gamma_y l_p \lambda] \cdot h_g}{\exp\left(\frac{2f_{mp} l_p}{\lambda \cdot m_g}\right)} \quad (5)$$

В останньому випадку глибина зони руйнування пласта визначається

$$l_{p \max} = \frac{\{\lg[(K_o \gamma H - \sigma_c) \cdot \lambda + P] - \lg P\} \cdot \lambda \cdot h_g}{2f_{mp} \lg e} \quad (6)$$

Результати розрахунків зведені в табл. 1. Аналіз даних таблиці 1 свідчить про те, що виключити руйнування бокових порід навіть на глибинах до 100 м неможливо. Глибина анкерування боків виробки знаходиться в межах 2,2-5,2 м і більше.

Таблиця 1

Глибина розробки, м	Опір кріплення, кН/м			Значення, $l_{p \max}$
	$l_p = 0$	$l_p = 1$	$l_p = l_{p \max}$	
200	$18 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^2$	60	2,2
300	$24 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^2$	70	2,6
400	$36 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^2$	80	3,0
500	$44 \cdot 10^3$	$15 \cdot 10^2$	90	3,2
600	-	-	100	3,6
700	-	-	110	4,0
800	-	-	120	4,4
900	-	-	130	4,8
1000	-	-	140	5,2

Заміри глибини зони зруйнованих порід в зоні впливу очисних робіт дозволяють зробити висновок, що глибина початку руйнування порід в боках $H_{p.б.}$ відповідає фактичним даним.

$$H_{p.б.} > \frac{R_{сб}}{K_o 2\gamma} \quad (7)$$

де $R_{сб}$ – міцність бокових порід на одноосне стискування.

Одночасно було встановлено, що на глибинах значно менших $H_{p.б.}$, ширина зони руйнування порід в боках в 2,0-2,5 рази менше ширини призми сповзання, а на глибинах значно більших $H_{p.б.}$, більше їх ширини в 1,5-2 рази. Якщо на всіх глибинах, перевищуючих $H_{p.б.}$, приймати однакові параметри анкерного кріплення в боках і в покрівлі, то це буде протиріччям реальним процесам, що розвиваються в боках і покрівлі.

Дослідження зусиль виривання анкерів, встановлених в умовах об'ємного стискування, показали, що величина зусиль складає 60-80кН і забезпечує утримання призми сповзання порід в боках виробок. Довжина анкерів, встановлених в боках виробки, визначається міцністю порід на одноосне стискування, а залежність представлена на рис.9.



Рисунок 9- Залежність довжини анкера від міцності порід в зоні впливу очисних робіт

Параметри анкерного кріплення для повторно використаних виробок в умовах міцних вміщуючи порід мають два варіанти. Перший варіант - без встановлення анкерного кріплення в боках. В цьому випадку параметри анкерного кріплення в покрівлі виробки визначаються з урахуванням приросту прольоту виробки від зміщень порід покрівлі. Отримана залежність, яка враховує приріст прольоту виробки з урахуванням зміщень порід покрівлі для глибин 600-900 м (рис.10). Довжина анкера зростає на 10-15 %.

При другому варіанті кріплення в боках встановлюється анкерне кріплення з параметрами, наведеними на рис.11. Цей варіант не потребує врахування приросту прольоту виробки.

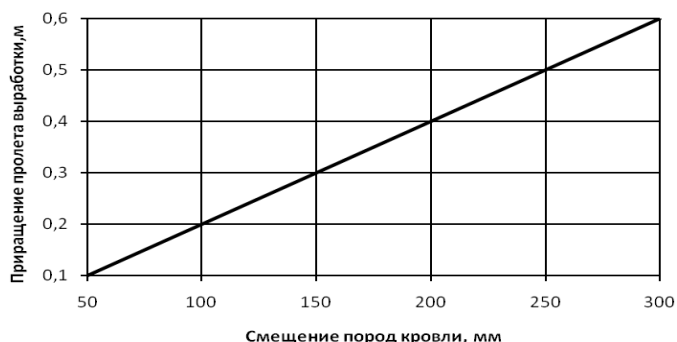


Рисунок 10 – Залежність приросту прольоту виробки від величини зміщень

Шахтні спостереження показали, що паспорта кріплення виробок, які повторно використовуються, на базі рамного кріплення є нераціональними, мають високу металоємність і трудоємність зведення, високий ступінь небезпеки при вилученні для повторного використання. Рамне кріплення практично не утворює опору зміщенням покрівлі, що призводить до зниження ефективності його підтримання стійками посилення.

Анкерне кріплення забезпечує якісний контакт порід і кріплення. Для підтримання покрівлі в підготовчих виробках необхідно розрахувати наступні параметри анкерного кріплення: довжину анкерів; загальний опір анкерного кріплення і щільність зведення анкерів. Зкріплена анкерами шарувата покрівля представляє собою складну балку, несуча здатність якої визначається опором нижніх шарів на розрив. Момент опору складної балки (від 2 до 5 шарів) завжди більше суми моментів опору суцільної балки такої ж висоти. Узагальнені залежності товщини породних балок за результатами шахтних вимірювань наведені на рис.13. Результати шахтних вимірювань вказують на те, що технологічно в більшості випадків для використання анкерів довжиною 3,0-3,5 м і більше використовувати составні і піддатливі анкери. На разі широко використовується сталеполімерне анкерне кріплення. За результатами шахтних

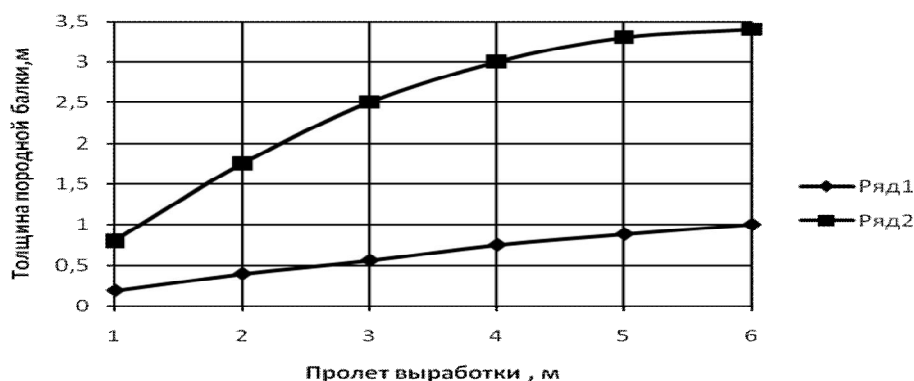


Рисунок 11 – Залежність товщини балки від прольоту виробки: 1 ряд - товщина багат шарової балки; 2 ряд - товщина одношарової суцільної балки

вимірювань, воно має несучу здатність 130-160 кН/м, є рівноміцні вузли для з'єднання составних анкерів, розроблено багато вузлів піддатливості.

Найбільш надійними в роботі є гідравлічні клапани, які забезпечують надійні параметри піддатливості анкерного кріплення.

Використання дворівневого анкерного кріплення для виробок, що використовуються повторно, підтверджує їх ефективність. На відміну від базових варіантів, дворівневе кріплення змінює характер деформування вмщуючи порід, кріплення повністю забезпечує робочий стан виробок, зміщення порід покрівлі і боків з боку лави поступово зростали і досягали 250-300 мм.

Піддатливе анкерне кріплення другого рівня глибокого закладення з довжиною анкеру 3,0 м і більше в сполученні з основним рамним або анкерним кріпленням запобігає породи покрівлі від некерованого процесу розвитку деформацій, уповільняє процес руйнування покрівлі, а разом з посушливими стійками та охоронними конструкціями забезпечує безремонтну експлуатацію виробок, які використовуються повторно (рис.12). Порівняльний розрахунок витрат на проведення і підтримання виробок за базовими і рекомендованими паспортами наведено в таблиці 3.

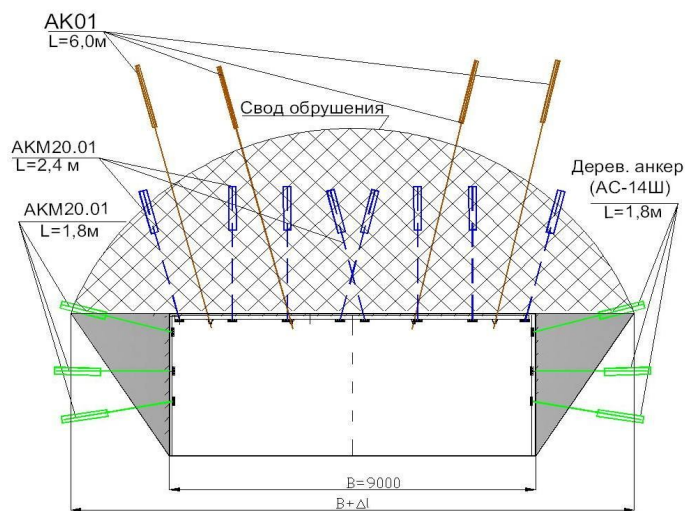
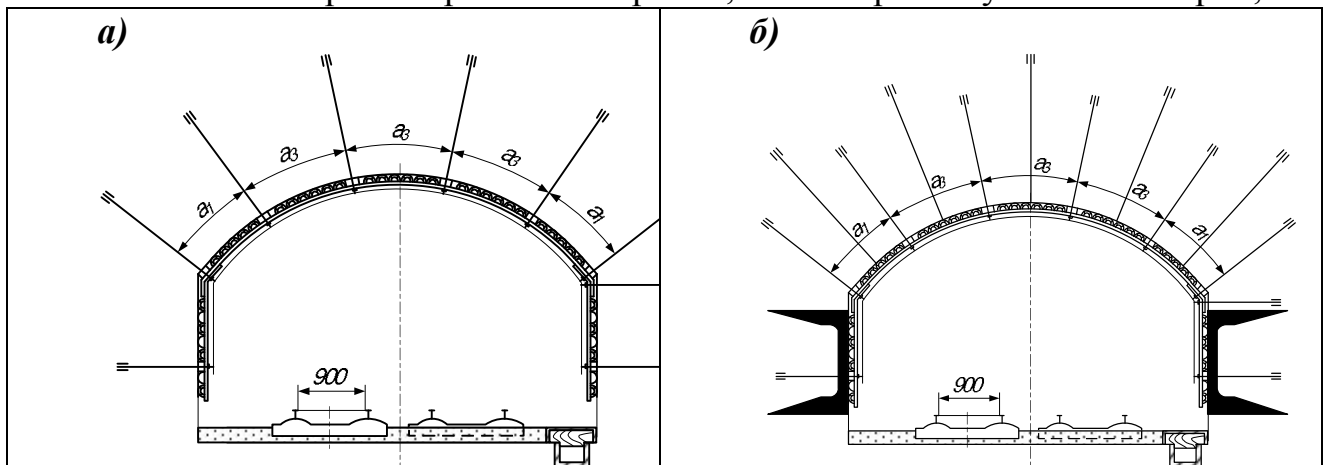


Рисунок 12 – Схема зведення двохрівневих анкерів.

Таблиця 2

Схеми анкерного кріплення виробок, які використовуються повторно,



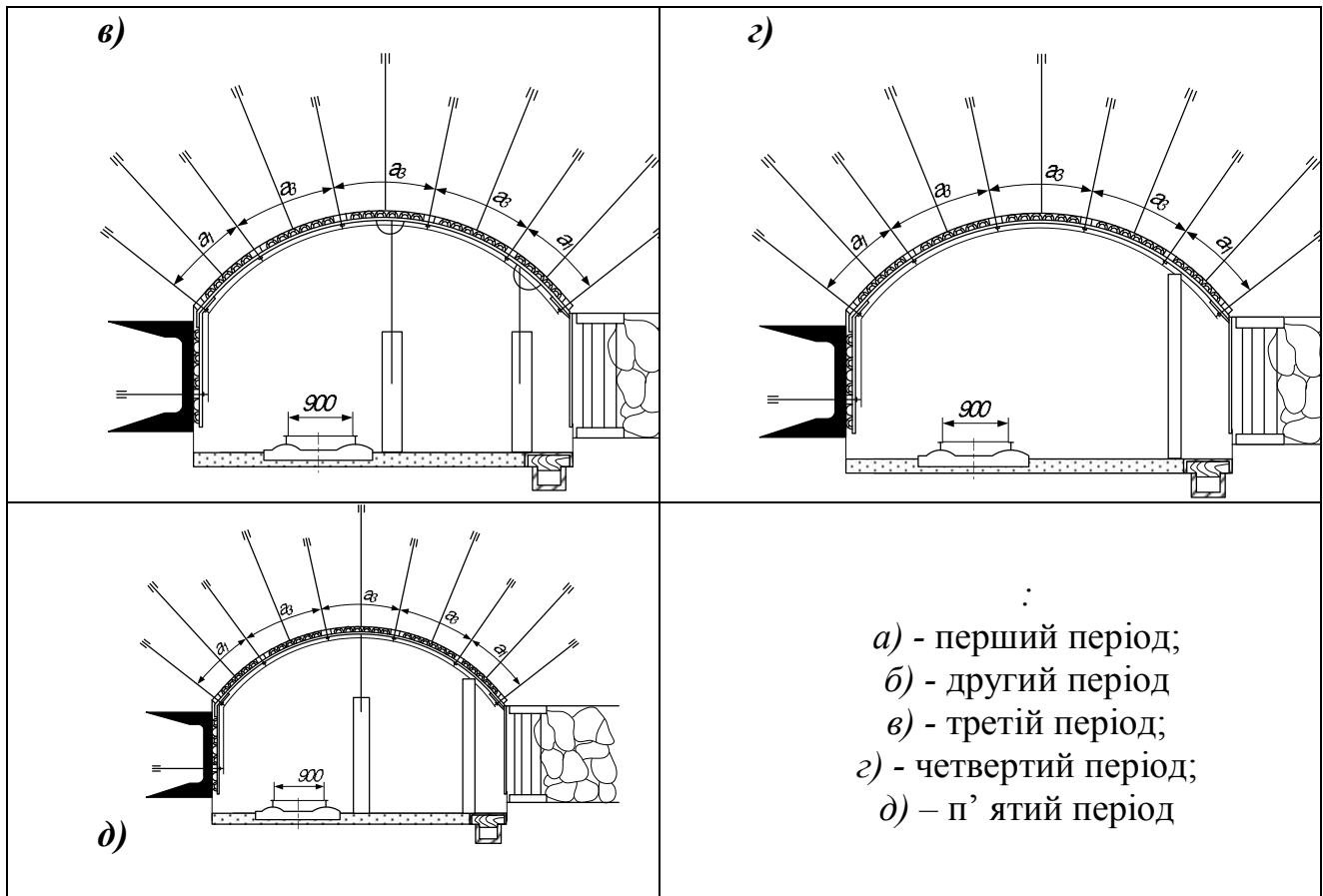


Таблица 3

Найменування	Витрати на проведення і кріплення 1 п.м, тис.грн.		Витрати на підтримання 1 п.м, тис.грн		Витрати на ремонт 1 п.м, тис.грн.	Загальна вартість 1 п.м виробки, тис.грн.
	робота	матеріал	робота	матеріал		
Базовий з анкерним кріпленням	6,5	4,5	6,9	5,8	4,9	28,6
З дворівневим анкерним кріпленням	6,5	4,5	8,0	4,5	0,8	24,3

Література:

1. Заславський Ю.З., Зорин А.Н., Черняк И.Л. Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт. – Киев: Техника, 1972.- 156с.
2. СНиП II-94-80. Подземные горные выработки.- М.: Стройиздат, 1982.- 30с.
3. Руководящий нормативный документ Минуглепрома КД 12.01.01.201-98. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке

угольных пластов на шахтах. Методические указания. – Киев: УкрНИМИ, 1998.- 169с.

4. Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Коваль А.И., Вивчаренко А.В. Обоснование направления снижения металлоемкости рамно-анкерной крепи пластовой выработки в слоистом массиве слабых пород. Науковий вісник НГУ, 2010, №4.- С.30-34.

5. Петренко Ю.А., Касьян Н.Н.,Новиков А.О. Новые представления о работе анкерной крепи. Сб.науч.тр. «Горная геология, геомеханіка и маркшейдерия».- УкрНИМИ НАНУ, часть П, 2004.- С.57-60.