

## Тема 1.4.4 Конструкція і встановлення монолітного бетонного та залізобетонного кріплення

### План

#### 1 Конструкції з монолітного бетону

##### 1.1 Історична довідка

##### 1.2 Бетонне кріплення в гірничих виробках шахт і рудників

##### 1.3 Бетонні оправи великих поперечних перерізів

#### 2 Монолітний залізобетон

### 1 Конструкції з монолітного бетону

#### 1.1 Історична довідка

Створення й перші спроби використання бетону датують 1834 р., хоча запатентований він був лише у 1855 р. французом Куаньє. З кінця 40-х років XIX ст. починаються спроби армування бетону дротяними сітками (перший патент на виробництво залізобетонних діжок отримав у 1867 р. французький садівник Моньє). Тепер здається парадоксальним, що використання бетону почалось не в будівництві (перша значна споруда – невеликий корабель інженера Ламбо, який експонувався на Паризькій виставці 1850р.). Але вже у 80-і роки XIX ст. збірні бетонні та залізобетонні конструкції з'являються на будмайданчиках європейських країн, чому сприяли комплексні випробування бетону німецькими дослідниками (зокрема, М.Кеннон уперше висунув і обґрунтував ідею розташування арматури в зоні розтягання). Значний розвиток бетонних технологій був пов'язаний з винаходом у 1892 р. французьким інженером Геннебіком способу зведення монолітних конструкцій. Цей винахід визначив важливий технологічний напрямок розвитку підземного будівництва, відкрив нові можливості забезпечення стійкості підземних споруд різного призначення (в т.ч. виробок з великими поперечними перерізами).

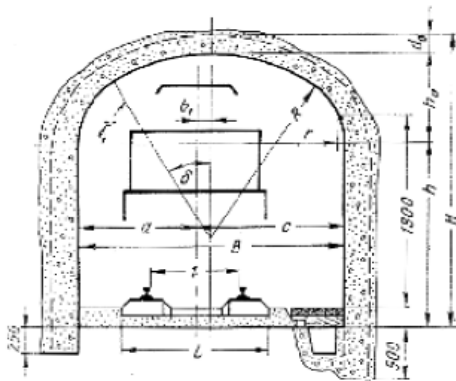
#### 1.2 Бетонне кріплення в гірничих виробках шахт і рудників

Бетонне кріплення – це суцільна жорстка конструкція, виконана з монолітного бетону за допомоги опалубки. Його застосовують для капітальних горизонтальних, похилих та вертикальних виробок зі строком служби 10 та більше років в умовах сталого рівномірно розподіленого (або близького до нього) гірського тиску.

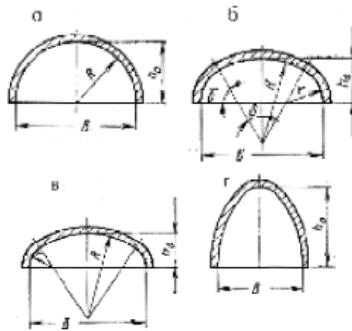
Кріплення горизонтальних та похилих виробок (рис. 1) складається зі склепіння, вертикальних стінок та фундаментів (в окремих випадках включає також зворотне склепіння). Форма кріплення забезпечує роботу бетону переважно на стискання. Склепіння бетонного кріплення в залежності від співвідношення його висоти ( $h$ ) до прольоту ( $B$ ) поділяють на циркульне, коробове та параболічне (рис. 2). У вугільних шахтах використовують здебільшого коробові склепіння (з підвищенням міцності порід – співвідношення  $h_0/B$  зменшується), для тунелів приймають параболічні та циркульні форми. Для стволів застосовують кільцеву форму кріплення (рис. 3).

Бетонне кріплення має щільний контакт (зчеплення) з оточуючими породами, тому його зовнішній контур повторює контур виробки. Проте необхідна товщина кріплення повинна витримуватися по всьому периметру, що потребує зовнішньої лінії обмеження (див. рис. 1, пунктир). У залежності від ширини виробки, міцності порід, стану гірського масиву товщина стін дорівнює від 200 до 500 мм, а у вершині

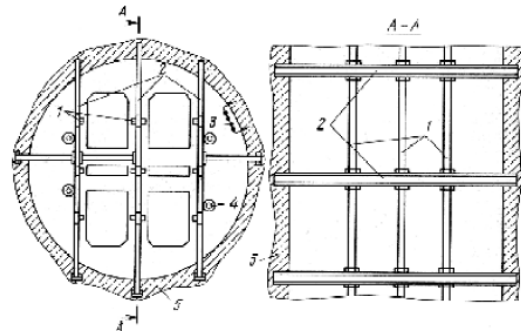
склепіння складає  $2/3$  від товщини стін (але не менше 170 мм). У скельних породах ширина фундаменту дорівнює товщині стіни, а глибина складає 250 мм або 500 мм (з боку водовідливної канавки). Мінімальна товщина бетонного кріплення стволів – 300 мм.



**Рис. 1 - Типова конструкція бетонного кріплення**



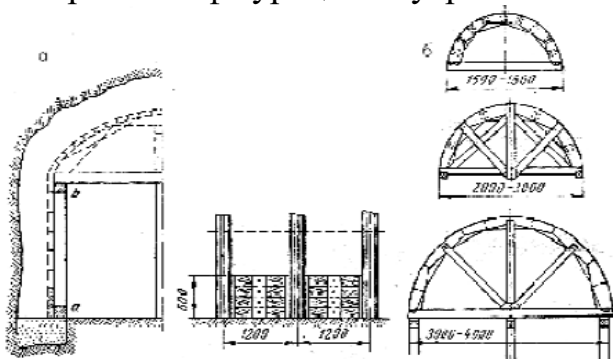
**Рис. 2 - Форми склепіння бетонного кріплення:**  
а – циркульне; б – коробове ( $h_0/B=1/3$ ); в – коробове ( $h_0/B=1/4$ ); г – параболічне



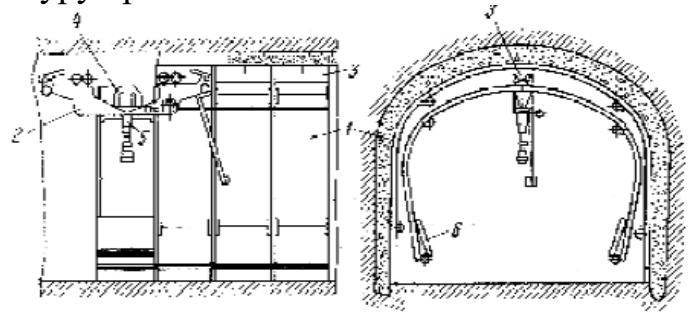
**Рис. 3 - Бетонне кріплення шахтного ствола:** 1 - провідники; 2 - розстріли; 3 - кабелі; 4 - трубопроводи; 5 - монолітний бетон

Бетонне кріплення споруджують з технологічним відставанням від вибою (зазвичай воно не перебільшує 20 м). Зведенню бетонної конструкції передують демонтаж тимчасового кріплення й установлення опалубки (пересувної форми-конструкції, що утримує бетон до затвердіння й задає конфігурацію та розміри кріплення).

Протягом тривалого часу при будівництві капітальних виробок використовували дерев'яну опалубку (рис. 4), конструкція якої була значною мірою успадкована від технології зведення кам'яного кріплення. Недоліками дерев'яної опалубки є її громіздкість, складність і трудомісткість зведення, значні витрати лісу (при розбиранні руйнується від 20% до 50% елементів опалубки). Тому в останні десятиріччя використовують головним чином металеву опалубку у вигляді розбірно-переставних, або пересувних інвентарних конструкцій (рис. 5). Сутність технології застосування цих опалубок полягає в тому, що після відриву від затвердлого бетону поперечні розміри опалубки зменшують, що дає можливість перемістити її по виробі. На місці бетонування опалубку знову розсовують так, що контур її приймає розміри й конфігурацію внутрішнього контуру кріплення.



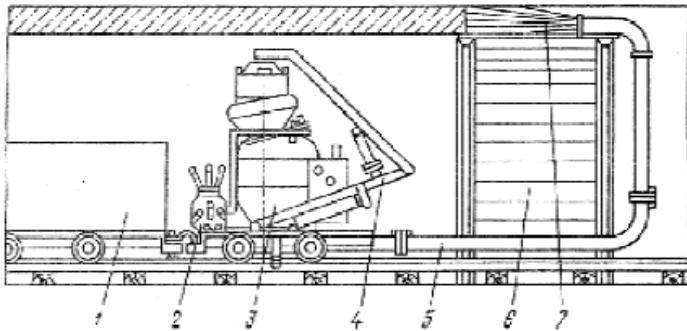
**Рис. 4 - Конструкція дерев'яної опалубки:**  
а – для стін; б – кружала для склепіння



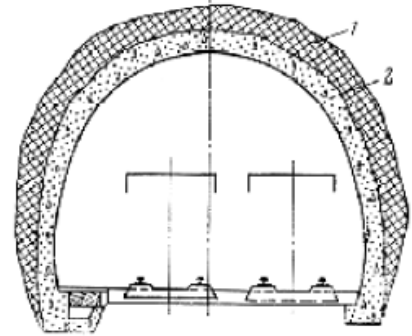
**Рис. 5 - Пересувна металева опалубка ОМП-1:**  
1 – секція опалубки в робочому стані; 2 – консольний візок; 3 – двотаврова балка (монорельс); 4, 5 – домкратні пристрої; 6 – секція в транспортному стані

Основні операції спорудження бетонного кріплення включають: приготування бетонної суміші, доставку її до місця робіт, монтаж опалубки, подачу, розподіл та ущільнення бетону в опалубці. Бетонну суміш готують головним чином централізовано на поверхні, доставляють до місця укладання в спеціальних контейнерах, вагонетках або по трубах, а за опалубку вкладають механізованим

способом за допомогою бетоноукладача (рис. 6). Строк твердіння бетону встановлюється проектом організації робіт, причому демонтаж опалубки проводять при досягненні бетоном 60-70% розрахункової міцності.



**Рис. 6 - Зведення бетонного кріплення комплексом БУК-3:**  
1 – вагонетка з бетоном; 2 – пульт управління;  
3 – пневматичний бетоновкладач; 4 – завантажувальний пристрій; 5 – бетонопровід; 6 – опалубка; 7 – бетонна суміш



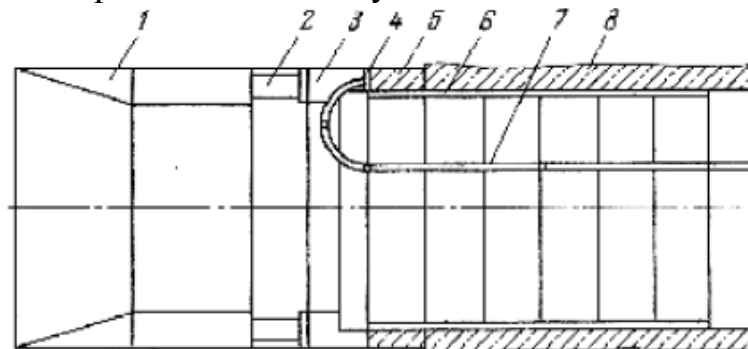
**Рис. 7 - Конструкція двошарового податливого кріплення:**  
1 – демпферний шар; 2 – несучий бетонний шар

Серед переваг бетонного кріплення слід відзначити високу несучу здатність (незамкнуті конструкції – до 0,3 МПа, замкнуті – до 0,5 МПа), довговічність, водоізоляційні можливості, незначний аеродинамічний опір, можливість забезпечення різноманітної форми тощо. До недоліків кріплення відносять неможливість сприйняття навантаження одразу після зведення, незадовільну роботу в умовах нерівномірного розподілу навантажень та зміщень породного контуру більше 50 мм.

В умовах нестійких порід для усунення означених недоліків і розширення області застосування бетонного кріплення рекомендовані швидкотвердні бетони підвищеної міцності, а також конструкції двошарового монолітного податливого кріплення (рис. 7). У такому кріпленні внутрішній шар із звичайного бетону є несучим, а зовнішній виконує функцію податливого (демпферного) елемента конструкції, який виконують з пінополіуретанового матеріалу або суміші шлаку з уламками порід. Це дозволяє більш рівномірно розподілити навантаження на бетонну оправу, забезпечити можливість зміщень порід без руйнування несучої конструкції.

### 1.3 Бетонні оправи великих поперечних перерізів

Сучасні тунелі споруджують здебільшого за допомогою прохідницьких щитів (пересувного кріплення циліндричної форми з передньою ножовою частиною й системою гідродомкратів). У зв'язку з цим використовують кільцеву форму кріплення з монолітно-пресованого бетону.



**Рис. 8 - Схема зведення монолітного бетонного кріплення способом пресування:**  
1 – прохідницький щит; 2 – домкрат; 3 – пресуючий пристрій; 4 – запірний пристрій;  
5 – бетонна суміш (до пресування); 6 – опалубка; 7 – бетоновід; 8 – бетонна оправа

Пресування поданої за опалубку бетонної суміші здійснюється домкратами щита в момент його пересування (рис. 8). У процесі пресування під тиском 1-1,5 МПа під торцем пресуючого кільця здійснюється видалення з бетонної суміші зайвої води й повітря, забезпечується повний контакт з породним контуром, що підвищує міцність кріплення приблизно на 30%.

## 2 Монолітний залізобетон

В умовах значного гірського тиску (до 0,3 – 0,4 МПа), нерівномірного розподілу навантажень, значних прогонів виробок (більше 6 м) і тривалого строку їх експлуатації, а також на ділянках сполучень капітальних виробок доцільно застосовувати монолітне залізобетонне кріплення. Воно має ті ж самі конструктивні рішення та форму, що й бетонне, але додатково вміщує армуючі елементи у вигляді гнучкої стержневої арматури або рам із сталевого прокату.

Залізобетонне кріплення з гнучкою арматурою (рис. 9) споруджують у випадку, коли геомеханічна ситуація дозволяє звільнити частину виробки від тимчасового кріплення, що дає можливість встановити там арматурні каркаси, опалубку й провести бетонні роботи. Зазвичай використовують подвійну арматуру, яку розташовують поблизу зовнішнього та внутрішнього контуру кріплення з урахуванням захисного шару 1,5-2 см. Відстань між прутами робочої арматури складає 20-30 см, діаметр стержнів – 8-25 мм. Коефіцієнт армування конструкції дорівнює близько 1-1,5 %. Використовують пластичний бетон, який вимагає мінімальних зусиль для ущільнення.

У більшості випадків при спорудженні капітальних виробок відсутня можливість демонтажу тимчасового рамного кріплення навіть на короткий проміжок часу. Тому в практиці будівництва капітальних виробок (здебільшого приствольних дворів) значне розповсюдження отримало залізобетонне кріплення з жорсткою арматурою (т. зв. “металобетонне”). Застосовують два варіанти кріплення: з жорсткими рамами із двотавра (рис. 11) та з тимчасово податливими рамами із жолобчастих профілів (рис. 10).

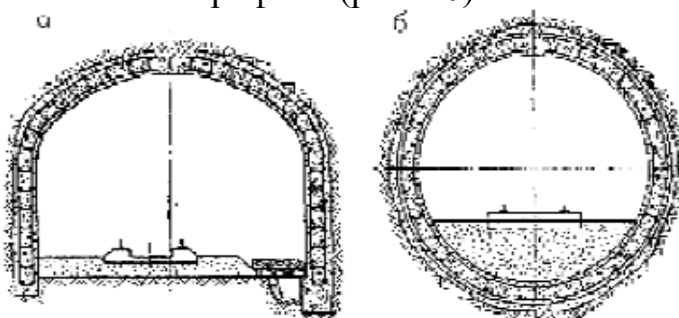


Рис. 9 - Залізобетонне кріплення з гнучкою арматурою:  
а – склеписта форма; б – кільцева форма

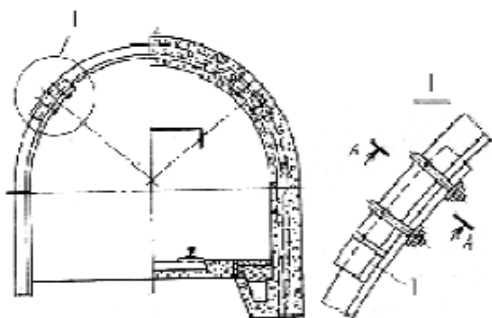


Рис. 10 - Металобетонне кріплення із спецпрофілю:  
1 – обмежувач податливості

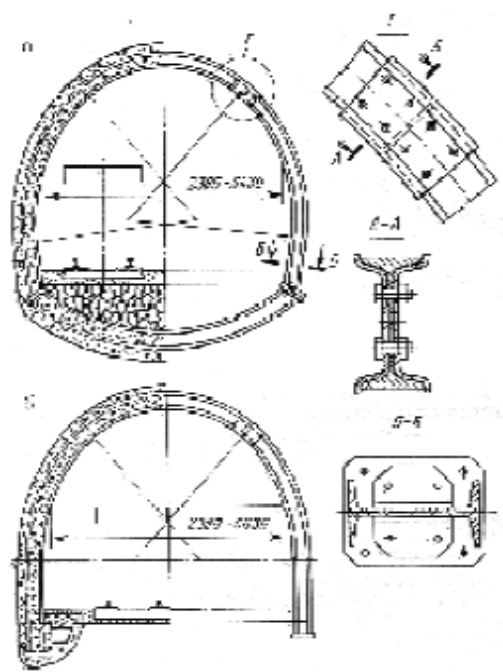


Рис. 11 - Металобетонне кріплення з жорсткими рамами із двотавру:  
а – КДЗ; б – КДА



У першому випадку сталеві арки монтують слідом за просуванням вибою з інтервалом 0,5-0,7 м, а бетонування ведуть паралельно з прохідницькими роботами з невеликим відставанням від просування вибою. У разі інтенсивних зміщень порід бетон не встигає набрати необхідної міцності, структурні зв'язки між породним контуром, бетоном, затяжками і рамами кріплення порушуються, конструкція руйнується. Вести процес бетонування із запізненням (на час реалізації основних зміщень порід) не завжди можливо, оскільки тимчасові жорсткі рами в цьому випадку деформуються, а виробка може опинитися в аварійному стані. У зв'язку з цим частіше використовують комбінацію бетону з податливим кріпленням із спецпрофілю (див. рис. 10). При цьому арки працюють у податливому режимі до припинення інтенсивних зміщень порід (1-1,5 місяці), після чого (зазвичай на відстані 40-50 м від вибою) їх бетонують.

Слід зазначити, що металобетонне кріплення має найбільшу матеріалоемність, вимагає великих трудовитрат, не може забезпечити високих темпів спорудження виробок. Недоліком конструкції є неузгоджена робота її елементів (бетон і сталеві рами), механічні властивості яких не відповідають один одному. Останнім часом суттєву конкуренцію метало бетонному кріпленню складає система “арка-набризк-тампонаж”, яка ефективно впроваджена на багатьох шахтах України.

### Питання для самоконтролю



1. В чому полягають особливості бетону як будівельного матеріалу?
2. Дайте характеристику конструктивним ознакам монолітного бетонного кріплення шахт і рудників.
3. В чому полягає призначення опалубки бетонного кріплення? Які типи опалубок використовують в шахтному будівництві?
4. Опишіть технологію зведення монолітного бетонного кріплення.
5. В яких гірничотехнічних умовах застосовують монолітний залізобетон?
6. Коли використовують гнучке армування залізобетонного кріплення, а коли жорстке?
7. У чому полягають особливості роботи металобетонного кріплення?