

## Тема 1.4.5 Анкерне кріплення, конструкція та умови застосування. Механізація возведення анкерного кріплення

### План

- 1 Основні уявлення про механізм роботи анкерного кріплення
- 2 Типи та конструктивні елементи анкерного кріплення
- 3 Технологія монтажу сталеполімерних анкерів
- 4 Моніторинг анкерного кріплення

### 1 Основні уявлення про механізм роботи анкерного кріплення

Розглянуті в розділах 2 –6 конструкції кріплення характеризуються створенням підпору породного контуру виробок, що забезпечує опір розвитку деформацій масиву й гальмує утворення зони руйнування порід. Втім повністю зупинити ці процеси підпірне кріплення не в змозі. Тому стійкість виробки остаточно визначається саме величиною залишкової міцності деформованих порід, яка визначається силами тертя в блочній структурі масиву. З погляду на роль несучої здатності гірських порід виникла концепція зміцнення (армування) масиву за допомогою анкерів (з німецької буквально “якорів”) – стержнів для скріплення породних шарів (блоків), які розташовують у гірському масиві по контуру виробки.

Перші свідоцтва застосування бамбукових анкерів для зміцнення масиву глинистих порід зафіксовані в Китаї й датуються кінцем тис. до Р.Х. Археологами знайдені оригінальні артефакти давньої гірничої технології, яка передбачала вдавлення анкерів у слабку породу. В Європі перше використання дерев'яного анкерного кріплення з щілинно-клиновим замком сталося 1900 р. у Верхній Сілезії (Польща). Початок застосування анкерів був пов'язаний з успіхами в технології буріння шпурів і створенні перфораторів машинного типу. Широке промислове впровадження розпочалося наприкінці 40-х років XX ст. у США та Австралії, де анкери поступово стали основним типом кріплення гірничих виробок у рудниках, а пізніше і у вугільних шахтах (переважно з короткими очисними вибоями).

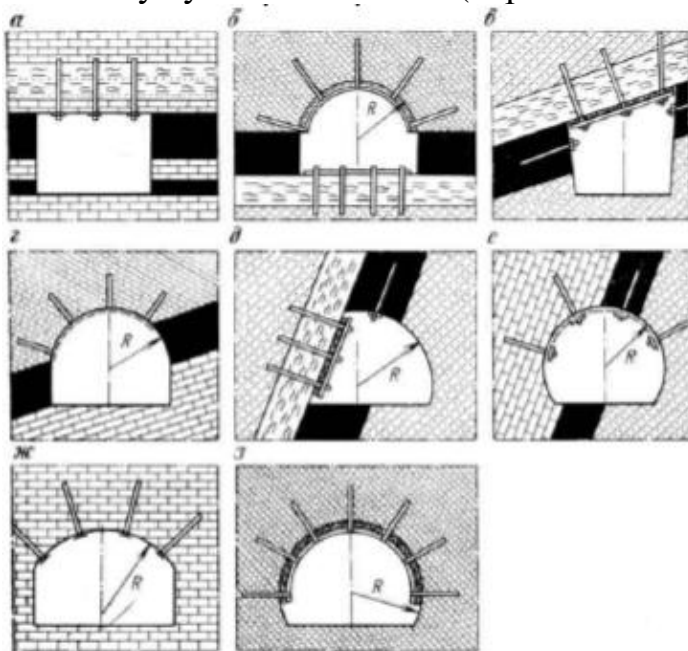


Рис. 1 – Анкерне кріплення:

а, ж – з опорними плитками; в, д – з прямолінійними підхопленнями та дерев'яною затяжкою;  
б, г, е, з – з арковими сталевими підхопленнями

У 1959 р. вугільна компанія Круппа в Ессені вперше застосувала полімерні ампули із синтетичними смолами для закріплення сталевих стержнів у шпурах.

З розробкою у 90-х роках XX ст. сталеполімерних анкерів нового покоління (несучою здатністю до 500 кН) анкерні системи знайшли широке застосування також на шахтах з довгими вибоями (лавами):

Великобританія – близько 90% виробок,

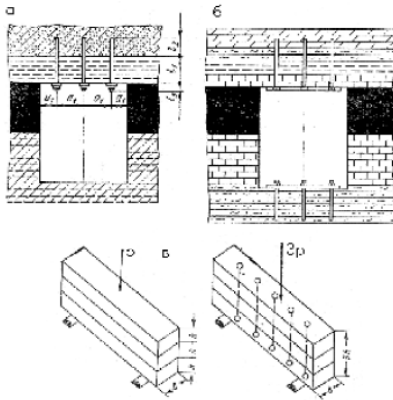
Німеччина – до 20%,

Польща – до 10%,

Україна й Росія – дослідні впровадження.

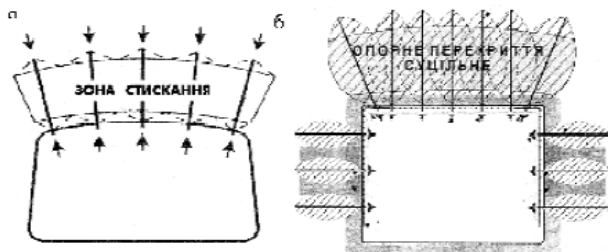
**Анкерне (або штангове) кріплення** являє собою систему закріплених у шпурах або скважинах штанг, розташованих у масиві порід по контуру виробки і призначених разом із підтримуючими елементами (підхопленням або опорними плитами) для зміцнення породного масиву з метою забезпечення стійкості гірничої виробки (рис. 1).

Уявлення про механізм роботи анкерного кріплення можна відобразити наступними випадками, які визначають умови його ефективного застосування:



**Рис. 2 – Схеми роботи анкерного кріплення в породах шаруватої структури:**

*а – шари порід безпосередньої покрівлі «підшиті» анкерами до основної покрівлі; б – шари порід «зшиті» між собою анкерами; в – порівняння роботи окремих балок (шарів) із складеною балкою (армованими породами)*



**Рис. 3 – Схеми роботи анкерного кріплення в породах блочної структури:**

*а – зона стиснення, утворена стягуванням анкерів; б – опорне суцільне перекриття із сталеполімерних анкерів*

1) пласти слабких, схильних до розшарування порід безпосередньої покрівлі «підшиваються» до міцних порід основної покрівлі (рис. 2, а), при чому роль анкерів зводиться до протидії зусиллям відділення слабких порід від потужного шару міцних та утримання ваги зруйнованих порід;

2) породи покрівлі тонкошаруватої текстури за допомогою анкерів «зшиваються» в єдине ціле, за аналогією до скріплення тонких дощок у складену балку (рис. 2, б, в), коли сумарний момент опору об'єднаних пластів значно збільшується; при цьому анкери пересікають площини послаблення (ковзання) породних шарів та створюють вздовж них додаткові сили тертя, що значно зменшує процес розшарування порід;

3) тріщинуваті породи покрівлі блочної будови обтискуються анкерами, які збільшують сили тертя вздовж тріщин та площин послаблення, створюють зону стиснення, у котрій напруження розтягання зменшуються, а міцність на зсув зростає (рис. 3, а);

4) у покрівлі формується штучна опорна зона (рис. 3, б), причому високоміцні сталеполімерні анкери створюють систему породних опор, які взаємно пересікаються в поперечному й поздовжньому напрямках і стримують зміщення порід у виробку (необхідна відстань між анкерами 0,5 – 0,8 м);

5) анкери цілеспрямовано закладають під визначеними кутами до нашарування порід, для забезпечення ефекту самозаклинювання скріплених суміжних блоків при зміщенні у виробку.

У більшості випадків при застосуванні анкерного кріплення виробки мають прямокутну форму, причому анкери розташовують по нормалі до нашарування порід (у покрівлі) або перпендикулярно до плоскостей тріщиноутворення (в боках); іноді використовують анкери у виробках арочної форми, розміщуючи їх в основному у склепистій частині симетрично вертикальній осі виробки (рис. 1). Умовами ефективного використання анкерів є якомога швидке зведення кріплення після

оголення порід, створення зусиль їх обтискання (шляхом затягування гайок під анкерними плитами), монтаж анкерів максимально можливої довжини (у типових умовах 2–3 м).

Згідно з українськими нормативами, область застосування анкерного кріплення як самостійної конструкції достатньо велика й включає практично всі типи виробок та гірничо-геологічних умов за винятком випадків:

- слабких, схильних до розмокання порід;
- наявності пливунів;
- закладання виробки навхрест простяганню порід;
- проведення виробок у присічку до лави;
- значного строку служби виробки (окрім залізобетонних анкерів).

Слід відзначити досвід позитивного впровадження сталеполімерного анкерного кріплення у відносно слабких породах та в прилеглих до лави штреках, що свідчить про можливість розширення області застосування анкерів.

## 2 Типи та конструктивні елементи анкерного кріплення

Велику кількість конструкцій анкерного кріплення (відомо близько 300 технічних рішень) поділяють на дві групи за характером закріплення анкера у шпурі. Розрізняють **замкові конструкції** (рис. 4), у яких контактна взаємодія анкера з породою здійснюється у донній частині шпуру, та **беззамкові** (рис. 5), у яких стержень закріплюють по всій довжині шпуру, як правило, за допомогою твердіючих сумішей.

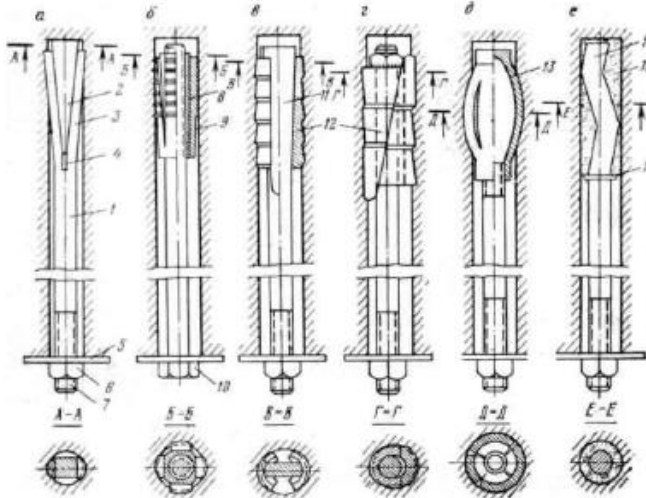


Рис. 4 - Замкові конструкції анкерів:

а – із щілинно-клиновими замками; б, в, г – з розпірними головками та півмуфтами (лепестковими гільзами); д – вибухо-розпірний з гільзою, яка закріплюється вибухом заряду ВР;

е – залізобетонний із замковим закріпленням:

1 – стержень; 2 – клин; 3 – «вуса» замка; 4 – щілина;

5 – опорна плита; 6 – гайка; 7 – знімна голівка; 8 – стакан;

9, 12 – гільза; 10 – болт; 11 – розплющений кінець;

13 – трубчаста голівка після вибуху; 14 – хвилоподібний стержень;

15 – бетонний або полімерний заповнювач; 16 – обмежувач

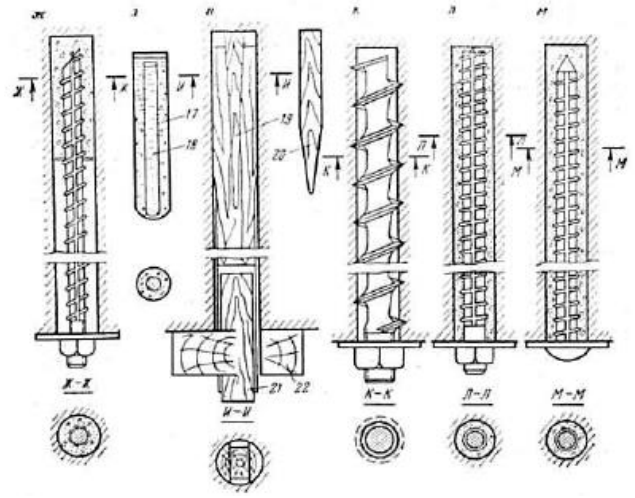


Рис. 5 - Беззамкові конструкції анкерів:

ж – хімічний анкер з закріпленням не на повну довжину; з – ампула; и – дерев'яний анкер;

к – гвинтовий анкер; л, м – залізобетонні (хімічні) анкери із повним закріпленням;

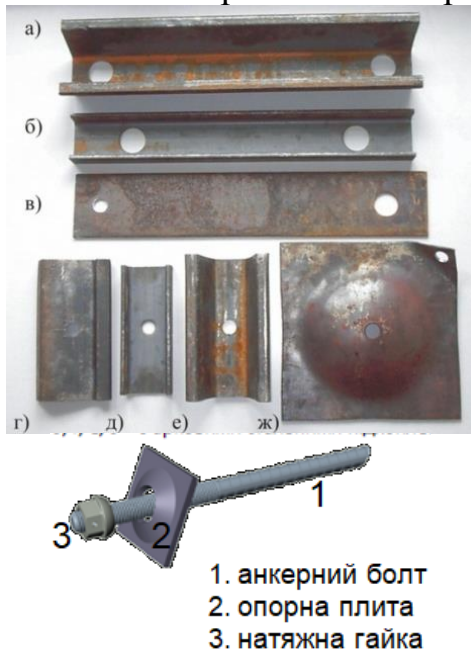
20 – клин; 19 – щілина; 17 – активний состав;

18 – отвердждавач

У першому випадку робота анкера проходить здебільшого у податливому режимі, оскільки зусилля проковзування замка у шпурі виявляються меншими ніж зусилля розриву стержня. Такі анкери зазвичай не можуть перешкодити розвитку зони руйнування, хоча помітно стримують цей процес. Технічні можливості беззамкових анкерів значно вищі, особливо у сталеполімерних конструкціях нового



покоління. Вони працюють у жорсткому режимі й здатні при відповідній щільності установки блокувати розвиток зміщень порід, обмежуючи їх 20 - 50 мм. Руйнування беззамкового анкера виникає за рахунок розриву стержня.



**Рис. 6 – Конструкції опорно-підтримуючих елементів:** а) підхват зі спецпрофілю; б) підхват зі швелеру; в) металева смужка; г) шайба із різаного спецпрофілю; д) шайба зі швелеру; е) шайба зі спецпрофілю СВІ; ж) шайба тарілчастої форми із листа №5

Невід'ємними частинами анкерного кріплення виступають підтримуючі елементи: опорні шайби (плити), підхвати та затяжки (в основному сталеві решітчасті або сітчасті), що передають зусилля натягання анкера на контур порід і перешкоджають їх розшаруванню й обрушенню (рис. 6). Шайби (плити), які збільшують опорну поверхню анкера, виконують в основному із листової сталі плоскими або півсферичними (в разі похилого розташування анкера, а також для забезпечення обмеженої податливості). Їх розмір у випадку квадратної форми складає до 200x200x10 мм, діаметр круглої шайби – 150-200 мм. У нестійких породах застосовують поперечні підхвати, які виконують із тонколистової сталі або, в особливо складних умовах, із швелера чи спецпрофілю. Довжина підхватів дорівнює ширині виробки.

До 80-х років ХХст. частіше застосовували замкові анкери, здебільшого з розпірними головками (див. рис. 4, б, в, г). Конструкція *розпірних анкерів* передбачала накладання двох півмуфт розпірного стакана на головку анкера й поєднання їх між собою за допомогою дротяного чи резинового кільця. При монтажі анкер встановлювали в монтажну трубу, яка верхнім кінцем опиралася на дно розпірного стакана, і вводили її у шпур. Для переміщення розпірного стакана у донну частину шпуру вдарили по кінцю труби (при цьому півмуфти розсувалися й зчіплювалися з породою). Після виймання труби встановлювали опірну плиту й закручували гайку. Натягання стержня (до 30 кН) приводило до зміщення вниз розпірної головки й силового розсуву контактних поверхонь півмуфт у стінки шпуру. Як можна помітити, монтаж замкових анкерів практично не підлягав механізації.

Слід відзначити, що несуча здатність замкових анкерів залежить від багатьох впливових факторів (у першу чергу від міцності порід), часто має випадковий характер і коливається від 30 до 100 кН (у міцних породах). При цьому надійність анкера визначається не розривом сталевго стержня, який має достатній запас міцності, а зусиллям проковзування замка у шпурі. З початком проковзування несуча здатність анкера може значно зменшитися. Для більш надійного закріплення анкерів були розроблені конструкції з подвоєними чи видовженими замками (з метою створити більшу площу контакту замка із стінками шпуру). Складність виготовлення, висока ціна й недостатня надійність таких конструкцій обмежили розвиток цього технічного напрямку. Основним шляхом підвищення надійності анкерного кріплення стало утримання стержня по всій довжині шпуру за допомогою цементних або полімерних сумішей (технологія армування порід).

**Залізобетонні анкери** (див. рис. 5) складаються із сталевого стержня періодичного профілю або каната, пісково-цементної суміші, якою заповнюють шпур, ущільнювального кільця й натяжної гайки.



Рис. 7 – Канатні анкери

У більшості випадків сталевий стержень вводять у шпур, уже заповнений розчином цементної суміші. Іноді спочатку вставляють анкер, а потім (або одночасно) проводять ін'єкцією у шпур твердіючого розчину (нагнітальний анкер).

Такий спосіб закріплення найбільш характерний для канатних анкерів (рис. 7).

Вельми перспективною є технологія патрунування шпуру ампулами із сухою сумішшю й водою з наступним введенням та обертанням арматурного стержня. Це суттєво спрощує й прискорює монтаж анкера, забезпечує його підвищену міцність. Зазвичай натягання стержня проводять після 3-5 годин після установаження. Несуча здатність звичайних залізобетонних анкерів складає 80 – 120 кН, канатних - до 250 кН.

Перевагами кріплення цього типу є простота конструкції, можливість ефективного застосування в різних породах, практично необмежений строк служби, низька вартість (цементні суміші майже на порядок дешевші за полімерні). Стримуючим фактором широкого застосування залізобетонних анкерів є та обставина, що вони здатні сприймати навантаження тільки після набору бетоном необхідної міцності (10-12 годин), а нормативна несуча здатність забезпечується тільки за 1-2 доби. Для прискорення процесу твердіння можливе використання особливих цементних сумішей із додаванням прискорювачів твердіння (зазвичай – рідкого скла). Гірничим бюро США розроблена мікрокапсульна скріплююча суміш “Кемікрон 2000”, яка забезпечує вже через 3 хвилини після монтажу залізобетонного анкера несучу здатність близько 90 кН. Проте швидке введення в роботу анкера потребує суттєвого збільшення ціни особливої цементної суміші, наближуючи її до синтетичних закріплювачів.

Найбільше поширення у сучасній практиці анкерного кріплення отримали **сталеполімерні конструкції** (рис. 5, л,м), особливо в умовах нестійких, тріщинуватих порід, а також (завдяки високій технологічності монтажу) при швидкісному спорудженні гірничих виробок.



Рис. 8 – Патруновані полімерні закріплювачі

У початковому стані компоненти закріплювача розміщують у ізольованих один від одного відділеннях ампул (рис. 8).

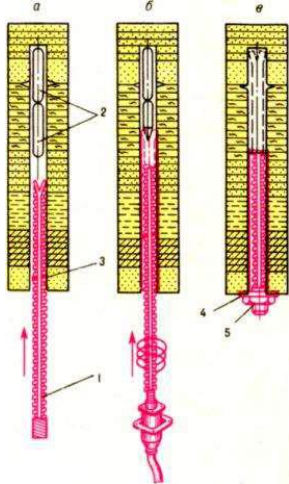
Під час введення й обертання стержня ампули руйнуються, їх складові з'єднуються й перемішуються, а суміш отримує здатності швидкого твердіння й високої адгезії до стінок шпурів і матеріалу стержнів.

Несучий елемент (сталевий стержень) виконують із арматурного періодичного профілю. Поперечні виступи профілю повинні забезпечувати перемішування

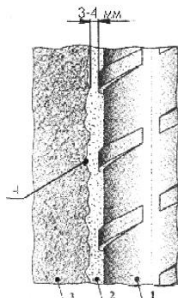
Засобом закріплення сталевих стержнів є полімерні композиції на основі епоксидних, поліефірних та фенолоформальдегідних смол, поліуретанових та фуранових складників, а також мінерально-органічних сумішей.

компонентів і транспортування суміші від донної до забойної частини шпуру (при обертанні стержня), а також укладку та утримання суміші в просторі між стінкою шпуру й анкером.

Головну частину стержня з метою надійного руйнування оболонки ампули й запобігання її зминанню виконують гостро заточеною (див. рис. 5, м), або розрізаною на довжину 40 – 50 мм з відгинанням кінців у протилежні боки (рис. 9, а). На вихідній частині анкера на довжині до 150 мм виконують різьбу для необхідного натягання стержня після його закріплення у шпурі. Міцність на розрив стержнів нового покоління складає для діаметрів 25, 27 та 30 мм – відповідно 250, 350 і 500 кН.



**Рис. 9 – Встановлення анкерів з хімічним закріпленням:** а – заведення ампул; б – перемішування суміші; в – завершальна стадія: 1 – анкер; 2 – ампул із закріплювальним складом; 3 – шайба; 4 – опорна плітка; 5 – гайка



**Рис. 10 – Стержень у шпурі:** 1 – сталевий стержень із серповидними поперечними виступами; 2 – полімерна суміш; 3 – оточуючі шпур гірські породи; 4 – насічки для створення шорсткості стінок шпуру

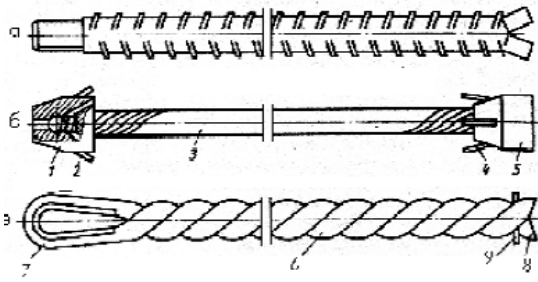
Важливою складовою ефективної роботи анкерів є точне дотримання заданих параметрів шпурів: місця розташування, просторової орієнтації, довжини й діаметра, прямолінійності та якості поверхні. Особливою вимогою є забезпечення розмірів вільного кільцевого простору між стержнем і стінками шпуру (рис. 10).

Діаметр шпуру повинен перебільшувати діаметр стержня на 6-8 мм, що забезпечує необхідні умови для раціонального руйнування ампул, ефективного перемішування смоли й затужавлювача, розповсюдження суміші по всьому кільцевому простору. Якісна поверхня шпуру передбачає утворення необхідної шорсткості, яку забезпечують додатковим швидкісним проходженням бурового інструменту по простору підготовленого шпуру.

Слід відзначити, що сучасні хімічні закріплювачі гарантують нормативну несучу здатність анкера – 150 кН (стержень із звичайної арматурної сталі), а в особливих конструкціях – від 250 до 500 кН. При цьому зусилля руйнування полімеру в кільцевому просторі шпуру (з урахуванням контактного зчеплення) не поступається міцності сталевому стержню, що свідчить про оптимальні параметри конструкції.

Сталеполімерний анкер вступає в роботу практично відразу після встановлення, оскільки процес полімеризації (твердіння) суміші займає лише кілька хвилин. Висока технологічність і механізація монтажу сталеполімерних анкерів забезпечують необхідні темпи спорудження виробок і суттєво підвищують конкурентоздатність цього типу кріплення. До недоліків синтетичних закріплювачів слід віднести високу вартість та обмежений строк служби (до 5 років).





**Рис. 11 - Конструкції стержнів:**

*а – із арматурної сталі; б – канатний; в – кручений склопластиковий; 1, 5 – сталеві анкерні пробки; 2, 4 – фіксатори; 3 – сталевий канат; 6 – пасма скловолокна; 7 – вантажний вузол; 8 – «вуса»; 9 – шплінт*

Після закінчення процесу нагнітання фіксатори 2 пробки 1 створюють умови розпору каната (до полімеризації у шпурі хімічної суміші). Канатні анкери можуть забезпечувати ще більш високі навантаження (до 600 кН) й слугувати вантовими опорами для підвішування верхняків кріплення, монорейок тощо.

Склопластикові стержні мають високу, подібну до сталі міцність на розтягання й відносно малий опір на зрізання. Це робить переважною областю їх застосування породні або вугільні масиви, що не виключають подальшої розробки й дії ріжучих органів гірничих машин. Найбільш ефективним завдяки рельєфній поверхні й підвищеній міцності зчеплення з хімічним закріплювачем вважають кручений склопластиковий анкер (див. рис. 11, в), який утворюють звиванням двох пасмів скловолокна 6, просякненого синтетичною смолою. Вантажний вузол анкера 7 виконують у вигляді петлі. Кінцева частина анкера являє собою два зрізаних джгути 8 (т. зв. «вуса»), що розведені в різні боки, та сталевий шплінт 9. Така конструкція забезпечує можливість руйнування ампул у шпурі.

Перспективним напрямком розвитку беззамкових конструкцій є створення анкерів у вигляді тонкостінних сталевих трубок, які закріплюють у масиві шляхом збільшення діаметра трубки під час установки. Масив при цьому підтримується за допомогою високої сили тертя між стінками шпуру й анкера. Їх несуча здатність відразу після встановлення сягає до 500 кН, час монтажу не перебільшує 5-7 хвилин, але потребує спеціального обладнання для створення імпульсного розсування оболонки анкера.

Цікавою можливістю армування слабких порід є спосіб силового вдавнення сталевих стержнів у породу. Він виключає необхідність буріння шпурів й штучного закріплювання анкерів. Працездатність анкера забезпечується силами тертя між породою та стінками стержня. Параметри цього способу і пристрої для вдавнення анкерів у гірську породу знаходяться в стадії експериментальних впроваджень.

Підсумовуючи огляд конструкцій анкерного кріплення, відзначимо його значні можливості для економії ресурсів, підвищення безпеки гірничих робіт, швидкісного спорудження виробок. Широке промислове впровадження анкерного кріплення здійснюється на основі новітніх високих технологій (високоміцні матеріали стержнів і закріплювачів, обладнання й машини для механізації монтажу). Область ефективного застосування анкерів постійно розширюється.

### 3 Технологія монтажу сталеполімерних анкерів

Оскільки конструктивні особливості й робочі характеристики беззамкових анкерів, які передбачають патрунування шпурів ампулами з синтетичними клеями (або цементними сумішами), значною мірою пов'язані з виконанням монтажних робіт, зупинимося більш докладно на широко розповсюдженій британській технології армування порід з використанням переносних бурових колонок (рис. 12 – 15).

Анкерне кріплення зводиться у виробітку прямокутного поперечного перерізу. Устаткування для прохідницьких робіт повинно знаходитися за межами забійної частини виробки. На ділянці заходки у покрівлі, боках і з торця виробки навішуються решітчасті затяжки, які скріплюються пружинними з'єднувачами. Стояки тимчасового кріплення встановлюють під підхват і розпирають між підшвою й покрівлею виробки (на місці постійного розташування підхвату).

Розмітка шпурів забезпечується отворами в підхваті, які розміщені згідно з паспортом кріплення. Бурову колонку встановлюють під підхватом напроти отвору під анкерний стержень. Першим монтується анкер у центрі прольоту (див. рис. 12), потім усі анкери з одного боку, далі – з іншого. Спершу передбачається буріння короткою штангою з наступним очищенням шпуру (повільне підняття й опускання бурової коронки в шпурі з промивкою, на повних обертах). Далі коротку штангу замінюють на довгу й пробурюють шпур на паспортну глибину (у типових виробках висотою 2,8 м довжина шпуру складає не менше 2,25 м). Для дотримання заданої довжини на бурову штангу вдягають обмежувач. Створення необхідної шорсткості поверхні шпуру досягають підняттям штанги з різучою коронкою від устя до донної частини, при цьому забезпечують максимально можливу швидкість подачі й обертання штанги (не припиняючи процесу промивання).

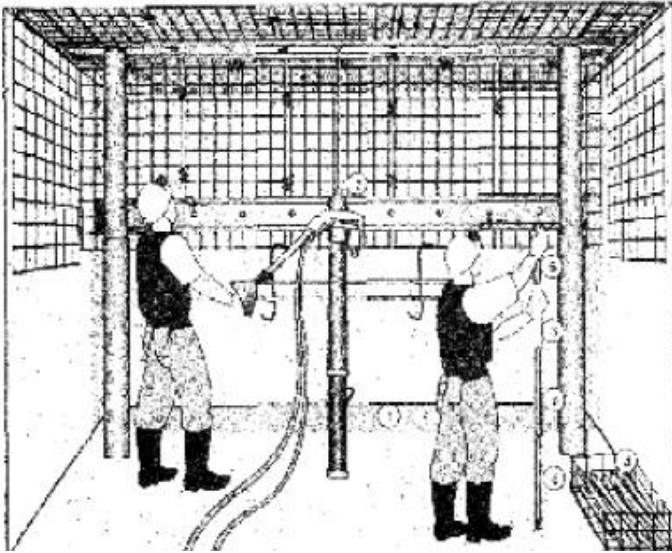
Патрони із закріплювачем для зручності подавання в шпур встановлюють у аплікатор (тонкостінну пластикову трубу), причому у його нижній частині розміщують фіксатор для запобігання випадіння ампул, потім патрони з повільним затужавленням, а верхнім – патрон із швидкотвердіючим компонентом (див. рис. 12). Аплікатор з патронами (ампулами) вводять у шпур, піднімаючи набійкою (жердиною) до упирання (див. рис. 13). Притримуючи фіксатор і патрони набійкою, аплікатор висовують із шпуру.

Перед введенням анкерного стержня на його різьбовій частині розміщують опорну шайбу й накручують гайку. Верхню частину стержня вводять у шпур, а нижню (за допомогою спеціального адаптера) поєднують з буровою колонкою. Стержню надають обертово-поступальний рух до повного занурення в шпур (рис. 14), що приводить до руйнування ампул і заповнення кільцевого простору скріплювальною сумішшю.

Стержень утримується кілька хвилин у нерухомому стані (відповідно до інструкції щодо застосування ампул), що забезпечує стабільне протікання процесу полімеризації й досягнення початкової несучої здатності закріплювача. Потім проводять натягання стержня (рекомендоване зусилля складає 50 кН).

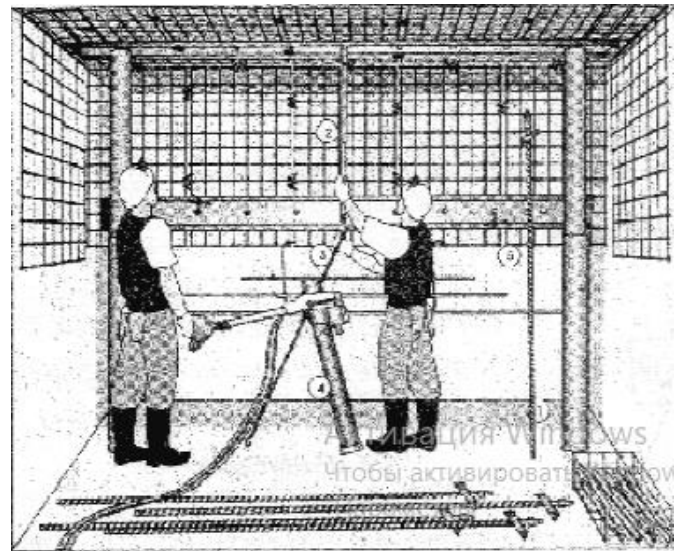
Для цього (рис. 15) на буровій колонці монтують гайковерт, підводять його до виступаючого із шпуру кінця стержня й надають гайці обертовий рух. Довжина хвостовика за гранню гайки не повинна перебільшувати 80 мм.



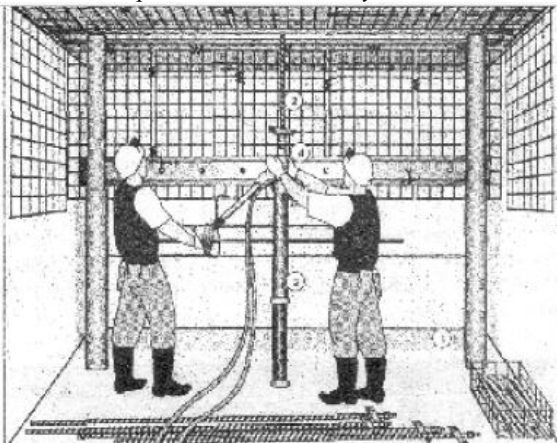


**Рис. 12 - Буріння шпурів і підготовка ампул:**

1 – технологічна заходка; 2 – обмежувач довжини шпуру;  
3 – аплікатор; 4 – скринька для зберігання ампул;  
5 – патрон із швидкотвердіючим закріплювачем;  
6 – патрон з повільним затужавленням

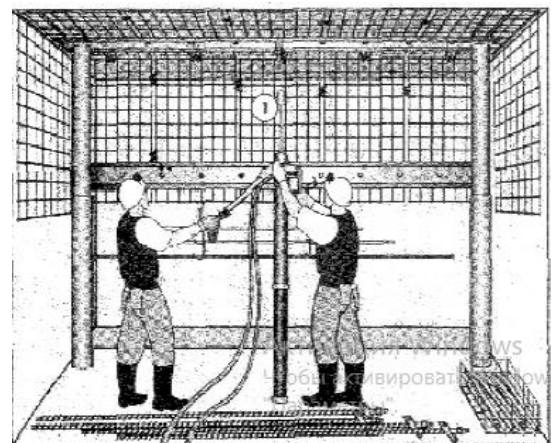


**Рис. 13 - Встановлення в шпур патронів із закріплювачем:** 1 – технологічна заходка; 2 – аплікатор з патронами; 3 – набійка (жердина); 4 – бурова колонка; 5 – сталевий стержень

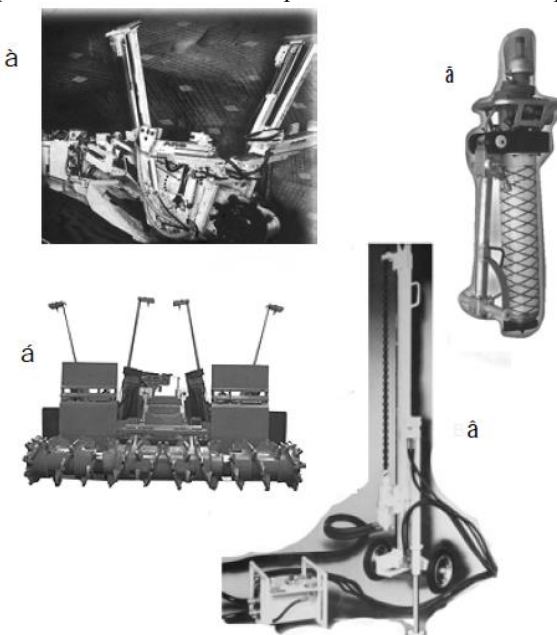


**Рис. 14 - Встановлення анкерного стержня:**

1 – технологічна заходка; 2 – сталевий стержень;  
3 – бурова колонка; 4 – адаптер для встановлення стержня



**Рис. 15 - Затягування анкерних гайок (1 – гайковерт)**



**Рис. 16 - Анкероустановники:**

а, б – на прохідницьких комбайнах;  
в – з колесним ходом; г – переносний

Час кріплення одного анкера складає 6 – 10 хвилин. Роботи з монтажу можуть вестися за допомогою кількох бурових колонок одночасно.

Вельми перспективним є застосування спеціальних машин для анкетування порід (рис. 16), які повністю механізують процес буріння шпурів і монтаж стержнів, а також маніпуляторів на прохідницьких комбайнах.

#### 4 Моніторинг анкерного кріплення

Важливою та невід’ємною складовою безпечною й ефективного застосування анкерного кріплення є інструментальні спостереження за станом оточуючих порід, контроль якості монтажних робіт, стеження за рівнем навантажень і деформацій анкерів. Основи моніторингу анкерного кріплення розглянемо на базі польського досвіду, який є найбільш характерним для початкового періоду освоєння анкерних технологій.

Спостереження поділяють на 3 стадії: початкову, монтажну й робочу.

Метою моніторингу на початковій стадії є уточнення стану гірського масиву й необхідних параметрів анкерного кріплення (довжини й відстаней між анкерами). Слід звернути увагу, що несуча здатність анкера, яка дорівнює зусиллю витягання закріпленого стержня із шпуру, не тотожна несучій здатності підпільного кріплення. Так, сталева рама й сучасний сталеполімерний анкер мають приблизно рівну несучу здатність (близько 300 кН), але для забезпечення відповідного рівня стійкості виробки, замість однієї рами, треба застосувати 5-9 анкерів. Це пояснюється механізмом роботи анкерного кріплення, у якому головним несучим елементом виступають гірські породи. Саме від міцності та деформаційних властивостей порід у масиві; від кількості, орієнтації й глибини розповсюдження тріщин будуть залежати можливості ефективного застосування анкерів та їх параметри. Тому в місці закладання виробки проводять комплексні дослідження масиву.

У покрівлю бурять свердловини довжиною 6 – 8 м з отриманням кернового матеріалу. Аналізують число відокремлених частин керну (характеристика тріщинуватості), а зразки порід випробують на стискання, розтягання й розмокання. Поруч з лабораторними випробуваннями проводять дослідження міцності порід безпосередньо в масиві за допомогою пенетрометру (рис. 17, а). Метод ґрунтується на фіксації тиску при вдавлюванні індентора у стінки свердловини. Випробування здійснюють від устя до дна свердловини через кожні 10 – 20 см. Через розрахункові коефіцієнти визначають міцність порід у масиві на стискання й розтягання й будують діаграму їх розподілу по глибині (рис. 17, б).

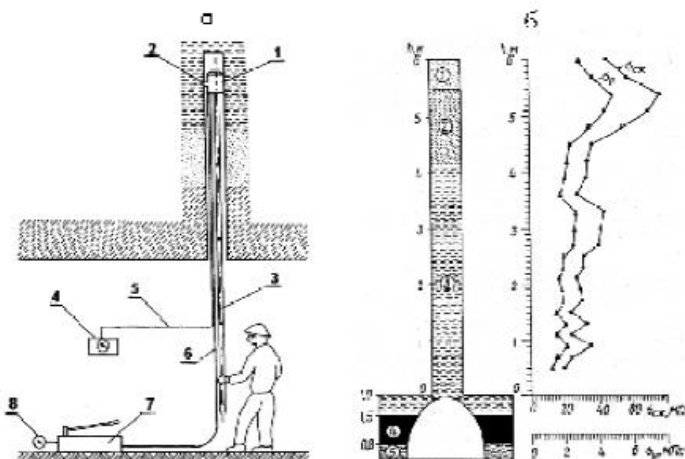


Рис. 17 - Схема пенетрометричних досліджень (а) та діаграма розподілу міцності порід у масиві (б):

- 1 – головка; 2 – індентор; 3 – складена трубка;
- 4 – електричний показчик спрацьовування індентора;
- 5 – електричний провід; 6 – гідравлічний кабель;
- 7 – насос; 8 – манометр

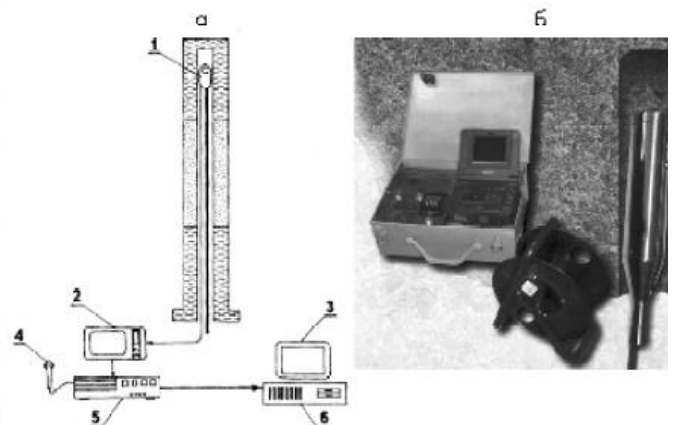


Рис. 18 - Схема свердловинної інтроскопії породного масиву (а) та відеокамера інфрачервоного спектру з системою управління (б):

- 1 – камера; 2, 3 – монітори; 4 – мікрофон;
- 5 – відеомагнітофон; 6 – комп'ютер

Для додаткової оцінки розподілу тріщин у дослідних свердловинах проводять інтроскопію масиву за допомогою відеокамери інфрачервоного спектру (рис. 18).



Зонд з камерою вводиться у свердловину й відображує на екрані монітора (фіксує на цифрових носіях) стан оточуючих порід, їх розшарування й тріщини.

Обладнання дозволяє оцінювати кількість, місцезнаходження (відстань від устя свердловини), кут залягання й величину розкриття (від 0,1 мм) усіх тріщин, що пересікають свердловину. Особливе значення має стан масиву на глибині, що перебільшує довжину анкерів.

У разі виявлення значних розшарувань і тріщин вище зони анкерування, треба збільшити довжину анкерів або відмовитися від анкерного кріплення як самостійної конструкції.

Зазвичай пенетрометричні й відеокамеральні дослідження продовжують також на третій (робочій) стадії моніторингу, причому відстань між дослідними свердловинами не повинна перебільшувати 100 м.

Монтажна стадія моніторингу передбачає контроль якості робіт при зведенні анкерного кріплення. Необхідно відслідковувати технологічні помилки й не допускати:

- перебільшення максимально допустимого відставання кріплення від вибою виробки, оскільки в цьому випадку навіть якісний монтаж анкерів не в змозі перешкодити процесу розшарування порід;
- встановлення стержнів у недокурні шпури, що не дає можливості прижати шайбу до породи й натягти анкер (із-за обмеженості різьбової ділянки);
- неповного заповнення шпуру закріплювачем, що знижує несучу здатність анкера;
- наявності порожнин під опорною шайбою, що збільшує час введення анкера в роботу та знижує його ефективність;
- неякісного монтажу затяжок, що призводить до обсіпання порід і розвантаження анкера.

У випадку незадовільного встановлення анкера необхідно пробурити поруч новий шпур і закріпити додатковий анкер. Необхідне зусилля натягання анкерів забезпечується конструкцією гайковерта, але час від часу воно контролюється індикаторними прокладками або динамометричним ключем.

У робочій (основній) стадії моніторингу відслідковують зміщення порід у масиві й на контурі закріпленої виробки, навантаження анкерів та їх деформації.

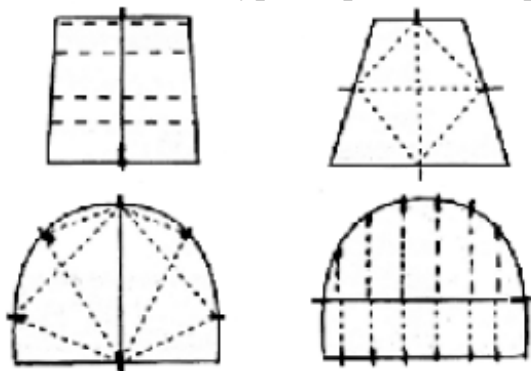


Рис. 19 - Типові схеми реперних станцій

Для оцінки зміщень породного контуру облаштовують замірні станції з маркшейдерськими реперами, які служать пунктами щомісячних замірів конвергенції порід. На рис. 19 подані типові схеми вимірювання розмірів поперечного перерізу виробок різної форми. Заміри можуть сигналізувати про наближення небезпечної ситуації, дозволяють контролювати збереження необхідних транспортних зазорів, проходів для людей тощо.

Розшарування порід у масиві відслідковують за допомогою струнних свердловинних вимірювачів, у яких пружинні пристрої розташовують на відстані 0,5-1 м один від одного. Зміщення струн характеризують розшарування порід по довжині



свердловини. Заміри ведуть на т. зв. “високому” й “низькому” рівні. Перший характеризується глибиною, яка вдвічі перебільшує довжину анкера (але не менша 4,5 м), й свідчить в основному про розвиток деформацій над опорно-анкерним перекриттям. Другий рівень лише на 0,3 м перебільшує довжину анкера й відслідковує за допомогою сигнальних покажчиків допустимі та критичні зміщення порід. Вельми ефективним способом дослідження розшарувань порід є також відео камеральна інтроскопія масиву (див. рис. 18). Уразі реалізації критичних зміщень, що регламентовані величиною  $(0,02-0,04)L$  (де  $L$  – сумарна товщина скріплених анкерами порід), проводять підсилення кріплення.

Обов’язковою частиною моніторингу є дослідження навантаження анкерів за допомогою динамометричних приладів, що розміщують між породами покрівлі та опорною плитою, або тензометричних датчиків. В останні роки широко застосовують автоматичні системи контролю навантаження анкерів, які відслідковують ситуацію в багатьох замірних пунктах одночасно. Прикладом такого обладнання є система моніторингу MONAKOT, що розроблена у Краківській гірничо-металургійній академії. Вимірювання виконують тензометричними датчиками, які розміщені по довжині стержня (дев’ять тензодатчиків на кожен анкер). Система MONAKOT може одночасно обслуговувати 50 анкерів, які об’єднують 450 замірних пунктів.

- необхідну для прийняття об’єктивних рішень частоту замірів;
- обсервацію розподілу напружень (навантажень) по довжині анкера;
- автоматизований збір, обробку й архівування результатів досліджень, у т.ч. в графічному вигляді по довжині анкера і вздовж виробки;
- сигналізацію аварійних станів: досягнення небезпечної межі навантаження (80% граничного); початок пластичності, розрив стержня.

Таким чином вдається надійно контролювати процес роботи анкерного кріплення, а в разі фіксації порушень технології чи небезпечних змін геомеханічної ситуації, своєчасно проводити роботи по підсиленню конструкцій. Вартість регулярних моніторингових досліджень повинна обов’язково входити в загальну ціну проекту анкерного кріплення виробки.

### **Питання для самоконтролю**



1. Розкрийте основні уявлення про механізм роботи анкерного кріплення й умови його ефективного застосування.
2. Дайте характеристику замковим та беззамковим конструкціям анкерів.
3. У чому полягають особливості монтажу й роботи розпирних анкерів?
4. Дайте характеристику залізобетонним анкерам і способам їх закріплення.
5. Розкрийте конструктивні особливості сталеполімерних анкерів. В чому полягають їх переваги?
6. Як проводять монтаж сталеполімерного анкерного кріплення?
7. Опишіть стадії моніторингу анкерного кріплення.