Технологія анкерного кріплення гірничих виробок на шахтах України: стан і перспективи

А. Ф. БУЛАТ,
директор ІГТМ ім. М. С. Полякова, академік НАН України

І. М. ПОПОВИЧ,
перший заступник Міністра Міненерговугілля України, інж.

О. В. ВІВЧАРЕНКО,
директор Департаменту реструктуризації вугільної промисловості Міненерговугілля України, канд. техн. наук

О. П. КРУКОВСЬКИЙ,
заступник директора ІГТМ ім. М. С. Полякова, доктор техн. наук

У підземній розробці вугільних родовищ однією з найскладніших була і залишається проблема кріплення гірничих виробок. Від надійності їх підтримки насамперед залежить безпека праці шахтарів, забезпечення робочих місць свіжим повітрям та матеріалами, рентабельність роботи прохідницької та видобувної техніки, навантаження на лаву, тобто ефективність роботи шахти в цілому. Ось чому такими важливими й потрібними є нові, передові технології, у тому числі й для кріплення гірничих виробок, питома вага яких становить від 30 до 40 % загального обсягу робіт з видобутку вугілля.

У вуглевидобувних країнах світу найбільшого поширення набула технологія кріплення виробок за допомогою металевого рамного кріплення зі спеціального профілю. Однак зі збільшенням глибини розробки зростає і гірський тиск на кріплення. Щоб протистояти силам гірського тиску, виробляли все потужніші, тобто більш металомісткі номери профілів, розробляли потужні зразки кріплення. Піком успіху став 1976 р., коли було досягнуто найвищого показника з видобутку вугілля – понад 200 млн т. Після цього почався спад, зумовлений численними негативними чинниками, зокрема зниженням ефективності технології кріплення гірничих виробок.

Однак, незважаючи навіть на дедалі зростаючу вартість, традиційна технологія рамного кріплення здебільшого вже не гарантувала необхідної надійності й безпеки робіт. Під дією гірського тиску кріплення деформувалося, гірничі виробки руйнувалися, що потребувало їх перекріплення. Відповідно зростала собівартість вугілля. На вирішенні цієї проблеми зосередили зусилля також провідні вчені Інституту геотехнічної механіки НАН України.

Такі самі проблеми були добре відомі й зарубіжним фахівцям, які також шукали вихід із цієї складної ситуації. Тому наприкінці 90-х років минулого століття у світовій гірничовидобувній промисловості почали використовувати технологію анкерного кріплення гірничих виробок. Ця технологія принципово відрізняється від традиційної, оскільки під час її реалізації функції металевого кріплення мають виконувати гірські породи самої виробки, підсилення яких здійснюють анкери. Визнаним лідером у цьому напрямі була Великобританія, виробки вугільних шахт якої вже в той час майже на 90 % були закріплені анкерним кріпленням.

У 1996 р. Міністерство вугільної промисловості України затвердило галузеву Програму зі створення вітчизняної технології анкерного кріплення гірничих

виробок. Її виконання доручили Інституту геотехнічної механіки НАН України.

Задовго до початку виконання Програми ІГТМ мав у своєму доробку унікальні результати фундаментальних досліджень процесів руйнування порід, спрямовані на оцінювання можливості використання енергії гірського масиву для створення принципово нових технологій [1 – 4]. Встановлено невідомі раніше закономірності зміни механізмів позамежового деформування і руйнування граничнонапружених гірських порід, які виявляються на контурі виробок під дією гірського тиску і різних керуючих впливів. Визначено найефективніші методи і засоби керування станом вуглепородного масиву, що дають змогу активувати або блокувати процес руйнування.

Встановлені закономірності було зареєстровано як наукові відкриття. У галузі геомеханіки це – перші фундаментальні наукові результати, що здобули такий статус. Саме ці фундаментальні закономірності й покладено в основу створення нових технологій анкерного кріплення, що ґрунтуються на використанні енергії гірського масиву. Через два роки потому введено в дію нормативні документи Мінвуглепрому України, які регламентували умови застосування і вимоги до технології анкерного кріплення, її елементів та устаткування, технічних способів індикації безпечного стану виробок, їх проектування і спорудження з анкерним кріпленням [5, 6].

Паралельно з проведенням наукових досліджень у м. Макіївка під патронатом фахівців міністерства на чолі з першим заступником міністра В. В. Радченком та за безпосередньої участі вчених Інституту геотехнічної механіки побудовано і в 1998 р. уведено в експлуатацію завод з виготовлення анкерів і ампул з полімерним закріплювачем для закріплення анкерів у масиві. Завод ПрАТ «Карбо та кріплення» успішно працює й сьогодні та забезпечує шахти всіма необхідними матеріалами і обладнанням для реалізації анкерного кріплення виробок. Водночас спільно з фахівцями Інституту чорної металургії НАН України відпрацьовано і розроблено технічні умови для технології виробництва прокату для анкерних штанг.

Для промислової реалізації технології анкерного кріплення було створено наукову, нормативну і виробничу базу [7]. Це дало змогу вже в 1999 р. розпочати широкомасштабні промислові випробування британського варіанта цієї технології. У наступні роки її впровадили на 15 вугільних шахтах. Так, на шахті «Павлоградська» цілком реалізовано британську технологію анкерного кріплення збірного штреку на ділянці завдовжки 750 м. Цю виробку підтримували в експлуатаційному стані понад 2,5 роки без жодного ремонту. При цьому бортовий штрек, що споруджували паралельно, але з традиційним рамним кріпленням, зазнав усіх характерних для шахт України виявів гірського тиску: наднормативна втрата перерізу та здимання підошви виробки до 1000 мм, що призводило до необхідності ще до пуску лави підривати підошву виробки по всій її довжині та ін.

Такі результати – нові, позитивні й значущі – у нашій країні отримано вперше, але одночасно вони були типовими для зарубіжних шахт, які також застосовували британську технологію кріплення. Однак відомо, що геологія вугільних родовищ України значно відрізняється від інших вугільних родовищ світу і, на жаль, не в кращий бік. Тому британська технологія обмежувала сферу застосування анкерного кріплення. Потрібен був український варіант технології.

Результати фундаментальних досліджень, отримані в ІГТМ, дали змогу встановити принципово важливу роль різних малоенергоємних впливів на процес руйнування гірських порід, які активізують або блокують процес руйнування. У нашому випадку саме анкер виконує роль малоенергоємних впливів і ефективного інструменту, що може ефективно блокувати процес руйнування порід навколо виробки.

Ці результати досліджень і дали змогу фахівцям ІГТМ розробити і випробувати посилені конструкції анкерного кріплення, в яких за допомогою просторового розташування сталеполімерних анкерів формуються породно-анкерні блоки [8, 9]. У кожному такому блоці, згідно з розробленими схемами, частину анкерів встановлюють з нахилом на вибій, а частину – в протилежний бік (рис. 1). Таке розташування дає можливість значно підвищити взаємодію між анкерами в порівнянні з традиційними схемами односпрямованого армування приконтурного гірського масиву [10].

Залежно від конкретних гірничо-геологічних умов за допомогою анкерів слід сформувати навколо контуру виробки систему породно-анкерних блоків, яка і є головним елементом блокування процесу руйнування. Її основне завдання – заблокувати початок, а ще краще взагалі не допустити руйнування порід. До того ж, чим менше часу витрачатиметься на встановлення анкерів для формуван-

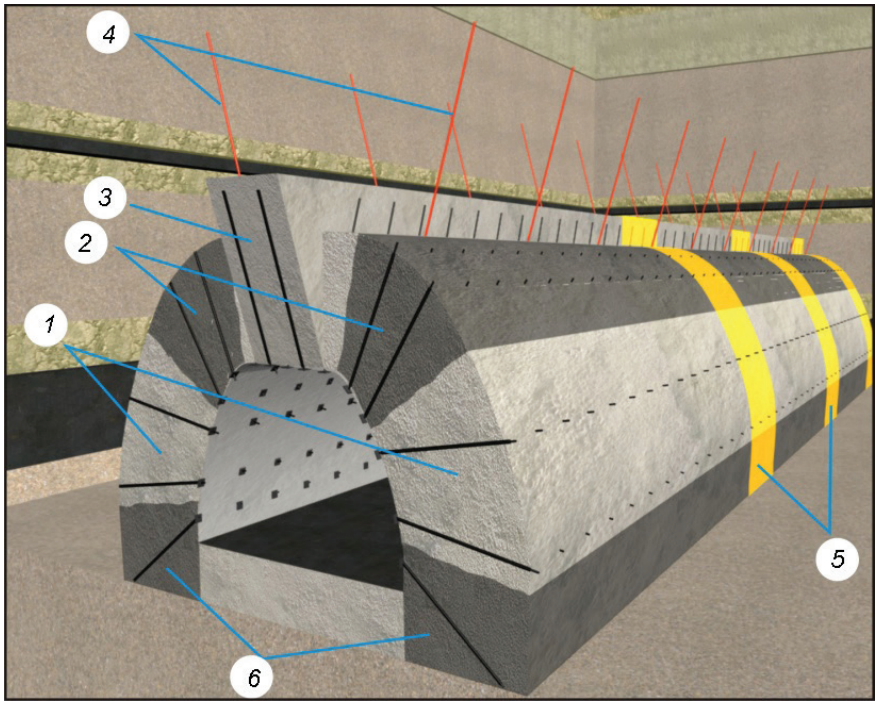

Рис. 1. Формування породно-анкерних елементів технології силового опорно-анкерного кріплення: *1* – опори; *2* – підпірна частина; *3* – силова частина перекриття виробки; *4* – анкери глибокого закладення (канатні); *5* – захисні перемички; *6* – основа конструкції.

ня блоків, тим надійнішою буде виробка. Правильний вибір просторових схем установлення анкерів дає змогу керувати напружено-деформованим станом гірського масиву і споруджувати виробку практично з будь-яким заданим терміном експлуатації – 5, 10 років і більше.

Параметри схем розташування анкерних штанг визначають методами математичного моделювання з використанням методу скінчених елементів у об'ємній пружно-пластичній постановці. На рис. 2 порівнюються зміни напруженого стану навколо виробки під час встановлення анкерного кріплення.

З установкою системи анкерів у покрівлі гірничої виробки зберігається зона тривісних стислих порід з підвищеними значеннями мінімальної компоненти напружень, яка охоплює більшу частину приконтурного простору в покрівлі та боках виробки. Над виробкою системою анкерів формується високоміцне суцільне перекриття, у якому блоковано можливість розвитку руйнування [10 – 12].

Розроблена математична модель характеризується тим, що вперше дає можливість оцінити вплив часу, місця встановлення анкерів і початку їх роботи, що має принципове значення для розрахунку технологічних параметрів і підвищення ефективності технології кріплення. За такої технології кріплення енергія гірського тиску вже не призводить до руйнування виробки, а навпаки, підвищує її стійкість: чим більший гірський тиск, тим вищий рівень монолітності масиву навколо контуру виробки. Негатив обертається на позитив.

Отже, величезний обсяг наукових результатів, а також накопичений практичний досвід супроводу технологій анкерного кріплення в різних гірничо-геологічних умовах дав змогу перейти від технології підсилення порід покрівлі виробок до технології силового опорно-анкерного кріплення гірничих виробок.

Поєднання переваг двох технологій кріплення – традиційної рамної і анкерної – дало змогу запропонувати ще одну високоефективну технологію – анкерно-рамну, в якій цілковито використовують-

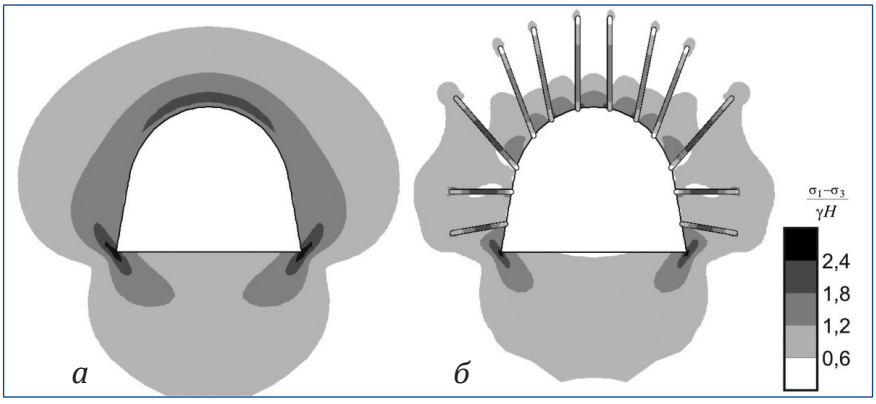

Рис. 2. Напружено-деформований стан породного масиву навколо виробки: *а* – без анкерного кріплення; *б* – з анкерним кріпленням.

Рис. 3. Стан 565-го вентиляційного штреку шахти «Степова» ДП «Львіввугілля».

ся всі переваги металевого рамного кріплення. Воно виконує функцію вже не основного кріплення, а допоміжного, і працює в набагато м'якшому режимі. Кількість рам значно скорочується, а виробки стають ще надійнішими та стійкішими, що важливо у разі, якщо їх потрібно зберегти для повторного використання після відпрацювання першої лави.

На підставі плану заходів між Національною академією наук України і ТОВ «ДТЕК» у 2013 р. компанією «ДТЕК» прийнято рішення про застосування технології анкерного кріплення. На виконання прийнятого рішення співробітники Інституту провели навчання інженерно-технічних працівників шахт, здійснили геомеханічне обстеження виробок, розробили рекомендації та виконали роботи з контролю дотримання нормативних вимог щодо проведення виробок з анкерним і анкерно-рамним кріпленням на 102 гірничих виробках 22 шахт шахтоуправлінь ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», ТОВ «ДТЕК Добропіллявугілля», ТОВ «ДТЕК Ровенькиантрацит», ТОВ «ДТЕК Свердловантрацит», ПАТ «ДТЕК Шахта Комсомолець Донбасу». Крім того, виконано роботи на 26 гірничих виробках інших вуглевидобувних об'єднань – ПАТ «Краснодонвугілля», ТОВ «Краснолиманське», ДП «Антрацит», ДП «Львіввугілля». Усього виконано роботи по 128 виробках.

Найменування	Вартість проведення 1 м виробки, грн
Аркове кріплення	
Аркове кріплення АКП-3/11,2, комплект	3814,42
Затяжка дерев'яна, м^3	156,29
Анкерне кріплення	
Обладнання для буріння та встановлення анкерів	405,37
Набір бурових штанг (1,0; 1,8; 2,4 м) і різців	26,30
Анкер металевий № 22, *L*= 2,4 м, з гайкою та шайбою	632,94
Ампули з полімерним закріплювачем Lokset UA 25/700 та 25/300	199,50
Сітка-затяжка металева розмірами 1,1×2 м (50×50,5 мм)	180,00

Хід виконання впровадження технології анкерного кріплення на вугільних шахтах та основні наукові й практичні результати, отримані за останні роки під час реалізації технології анкерного кріплення, було розглянуто на засіданні Президії НАН України (листопад 2013 р.).

Одночасно з досить успішною реалізацією технології анкерного кріплення на приватних шахтах керівництво Міністерства енергетики та вугільної промисловості України впроваджувало технологію на шахтах державного сектору. Так, на шахті «Степова» ДП «Львіввугілля» проведено 565-й вентиляційний та 565-й оконтурюючий штреки з анкерним кріпленням. Основна мета під час проектування кріплення – зменшення металоємності та вартості кріплення з одночасним підвищенням стійкості виробок. В Інституті геотехнічної механіки розробили рекомендації щодо схем установки і технології зведення анкерного кріплення. Після проведення перехідної ділянки з анкерно-рамним кріпленням рами у виробках встановлювали групами по три рами з відстанню між групами до 10 м (рис. 3). У таблиці наведено порівняння витрат на матеріали під час застосування рамного та анкерного кріплення.

У жовтні 2013 р. керівництво міністерства на базі шахти «Степова» ДП «Львіввугілля» провело семінар з питань практичної реалізації технології анкерного кріплення. На прикладі побудованих виробок керівники та фахівці інших шахт ознайомилися з особливостями нової технології.

Однак найвагоміший внесок у зниження собівартості вугілля від застосування анкерного кріплення вбачається у збільшенні темпів та безпеки ведення очисних робіт. При стійкому, майже недеформованому стані сполучення лава–штрек відпадає потреба в додатковому кріпленні. Зменшується час на виконання кінцевих операцій під час відпрацювання лави. Це дає змогу ефективно застосовувати потужну видобувну техніку та збільшувати темпи відпрацювання лави, що було продемонстровано під час проведення виїзної наради міністерства на прикладі відпрацювання стругової 167-ї

лави шахтоуправління «Першотравенське» ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Підготовчі виробки цієї лави проведено з анкерно-рамним кріпленням, а їх стан сприяв видобутку до 5000 т вугілля на добу.

Позитивні результати практичної реалізації технології опорно-анкерного кріплення гірничих виробок отримано ІГТМ завдяки тісній взаємодії з Міненерговугілля України, Державною службою гірничого нагляду та промислової безпеки України, а також плідній співпраці з фахівцями ТОВ «ДТЕК».

Багаторічний досвід практичного застосування анкерного кріплення на шахтах ТОВ «ДТЕК» та інших вуглевидобувних об'єднаннях дав змогу доповнити сучасними вимогами нормативний документ «Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги», який регламентує застосування передової технології анкерного й анкерно-рамного кріплення.

Особливості та відмінності вітчизняного варіанта силового опорно-анкерного кріплення полягають у такому. *Традиційно* розрахунок параметрів кріплення виконували на підставі визначення ділянки зруйнованих порід навколо гірничої виробки, тобто заздалегідь допускалося руйнування порід. Параметри кріплення визначалися із розрахунку утримання зруйнованої маси.

Вітчизняний підхід принципово інший. Розрахунок кріплення та схеми установки анкерів ведеться з вимоги недопущення руйнування порід навколо виробки. За допомогою анкерів формуються породно-анкерні блоки, у яких зберігається великий запас міцності та монолітності порід. Саме на цьому і базується новий варіант нормативного документа з розрахунку параметрів анкерного кріплення гірничих виробок, який дає можливість використовувати цю технологію в складних гірничо-геологічних умовах. Залежно від гірничо-геологічних умов проведення гірничої виробки, характеристик міцності анкерів і їх закріплення у шпурі визначається несуча здатність анкерно-породних опор. Далі за потрібним опором кріплення для блокування зміщень контуру виробки визначають оптимальну кількість анкерів і схему їх розміщення.

Зазначимо, що всі виробки з анкерним і анкерно-рамним кріпленням, які було проведено з дотриманням саме таких рекомендацій ІГТМ, а це понад 700 км на більш як 50 шахтах України, показали себе надійними і безпечними у процесі проходки та експлуатації. Поліпшено умови праці шахтарів, забезпечено істотне зниження витрат праці та всіх видів ресурсів. Крім того, в гірничих виробках з анкерним кріпленням зберігається високий рівень монолітності приконтурних порід, що зумовлює різке зниження надходження води, метану та інших шкідливих речовин з вуглепородного масиву до гірничих виробок під час проведення та подальшої експлуатації. Це в цілому знижує собівартість та підвищує безпеку вуглевидобутку.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Булат А. Ф.* Управление геомеханическими процессами при отработке угольных пластов / А. Ф. Булат, А. Т. Курносов. – К.: Наук. думка, 1987. – 200 с.
2. *Виноградов В. В.* Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / В. В. Виноградов. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
3. *Усаченко Б. М.* Свойства пород и устойчивость горных выработок / Б. М. Усаченко. – К.: Наук. думка, 1979. – 136 с.
4. *Булат А. Ф.* Управление состоянием предельно напряженного породного массива малоэнергоемкими воздействиями / А. Ф. Булат, А. Т. Курносов, Ю. А. Русанцов. – К.: Наук. думка, 1993. – 176 с.
5. *Система* забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги: КД 12.01.01.501–98. – [Чинний від 1999–04–16]. – К.: Мінвуглепром України, 1999. – 52 с.
6. *Система* забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Порядок та організація: КД 12.01.01.502–98. – [Чинний від 1999–08–21]. – К.: Мінвуглепром України, 1999. – 19 с.
7. *Булат А. Ф.* О внедрении новой технологии опорного крепления выработок анкерами / А. Ф. Булат // Уголь Украины. – 2000. – № 9. – С. 4 – 7.
8. *Виноградов В. В.* Применение сложных конструкций анкерного крепления / В. В. Виноградов, А. П. Круковский, В. А. Хворостян // Геотехническая механика. – 2008. – № 77. – С. 146 – 151.
9. *Система* забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги: СОУ 10.1.05411357.010:2008. – [Чинний від 2009–02–01]. – К.: Мінвуглепром України, 2008. – 69 с.
10. *Виноградов В. В.* Методологія опорно-анкерного кріплення гірничих виробок вугільних шахт / В. В. Виноградов, А. П. Круковський // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: 19-я Междунар. науч. школа: материалы. – Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2009. – С. 78 – 80.
11. *Круковський О. П.* Наукові основи технології опорно-анкерного кріплення гірничих виробок вугільних шахт: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.15.02 / Інститут геотехнічної механіки. – Дніпропетровськ, 2012. – 38 с.
12. *Булат А. Ф.* Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А. Ф. Булат, В. В. Виноградов. – Днепропетровск, 2002. – 372 с.