

З КАФЕДРИ ПРЕЗИДІЇ НАН УКРАЇНИ

БУЛАТ

Анатолій Федорович –
академік НАН України,
академік-секретар Відділення
механіки НАН України, директор
Інституту геотехнічної механіки
ім. М.С. Полякова НАН України

ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ КРІПЛЕННЯ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ВУГІЛЬНИХ ШАХТ УКРАЇНИ

За матеріалами наукового повідомлення
на засіданні Президії НАН України
13 листопада 2013 року

Показано переваги технології опорно-анкерного кріплення гірничих виробок, розробленої в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. Запропоновано концепцію керування стійкістю виробок за допомогою конструкцій з породно-анкерних елементів з високим запасом міцності. Проведено апробування та масштабне впровадження нової технології на вугільних шахтах України.

Ключові слова: виробка, анкер, рамне кріплення, полімерний закріплювач.

Гірничі виробки вугільних шахт, на відміну від багатьох інших підземних споруд, є певною мірою унікальними. Передусім тому, що споруджуються вони у незрівнянно складніших геологічних умовах, на глибинах, що сягають 1500 м. Гірський тиск на таких глибинах величезний – до 40 МПа. Довжина виробок у межах однієї лише шахти в середньому дорівнює 70 км. Якщо врахувати, що в Україні працює 160 шахт, то загальна довжина виробок становить 11 тис. км. До того ж для забезпечення безперервності процесів видобутку вугілля постійно проводяться нові виробки – до 450 км за рік.

У підсумку підземні гірничі виробки утворюють складну розгалужену мережу, яка постійно змінюється в часі та просторі і якою безперестанно переміщуються підземні машини і робітники, транспортуються гірські породи й вугілля, рухається повітря тощо. Ось чому такими важливими й необхідними 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 і які здатні протистояти всім негативним чинникам, а найголовніше, гарантувати безпеку проведення гірничих робіт.

Сьогодні вартість кріплення 1 погонного метра виробки коливається від 4 до 10 тис. грн. При цьому безповоротно втрачається 250–400 кг металу.

У всіх вугледобувних країнах світу найбільшого поширення набула технологія кріплення виробок за допомогою металевого рамного кріплення. Для її реалізації застосовують спеціальні сталеві прокатні профілі, з яких практично вручну і споруджують кріплення. Профіль кріплення встановлюють через кожні 0,5–1,25 м перпендикулярно до осі виробки, яка в перерізі може мати або прямокутну, або аркову форму.

Однак зі збільшенням глибини розробки зростає і гірський тиск на кріплення. Щоб протистояти силам гірського тиску, виробляли все потужніші і, відповідно, більш металомісткі номери профілів. Провідні фахівці створили прекрасні зразки кріплення, які до певного часу успішно вирішували всі проблеми щодо кріплення виробок. Піком успіху став 1976 рік, коли було досягнуто найвищого показника з видобутку вугілля — понад 200 млн т. Після цього почався спад, зумовлений численними негативними факторами, зокрема зниженням ефективності технології кріплення гірничих виробок.

Найбільш тривожним і небезпечним було те, що, незважаючи навіть на все вищу вартість, традиційна технологія рамного кріплення в багатьох випадках уже не гарантувала необхідної надійності й безпеки гірничих робіт. Під дією гірського тиску деформувалися кріплення, руйнувалися гірничі виробки, що потребувало їх перекріплення. Відповідно, зростала собівартість вугілля.

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 гірничодобувній промисловості почали використовувати технологію анкерного кріплення гірничих виробок.

Технологія анкерного кріплення принципово відрізнялася від традиційної, оскільки в її реалізації функції металевого кріплення виконували гірські породи самої виробки, підси-

лення яких здійснювали анкерами. Визнаним лідером у цьому напрямі була Велика Британія, гірничі виробки вугільних шахт якої вже в той час майже на 90 % були закріплені анкерним кріпленням.

В Україні в 1996 р. Міністерство вугільної промисловості затвердило галузеву програму зі створення вітчизняної технології анкерного кріплення гірничих виробок, а її виконання було доручено Інституту геотехнічної механіки НАН України.

Утім, задовго до початку виконання Програми Інститут уже мав у своєму доробку унікальні результати фундаментальних досліджень процесів руйнування гірських порід, які було спрямовано на оцінювання можливості використання енергії гірського масиву для створення принципово нових технологій [1–8]. Ми встановили невідомі раніше закономірності зміни механізмів позамежового деформування і руйнування гранично напружених 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 дозволяють або активувати, або заблокувати процес руйнування.

Встановлені закономірності було зареєстровано як наукові відкриття. До речі, в галузі геомеханіки це були перші фундаментальні наукові результати, що здобули такий статус. Диплом за № 337 видано Держкомітетом СРСР у справах винаходів і відкриттів у 1989 р. Отже, саме ці фундаментальні закономірності й було покладено в основу створення нових технологій, що ґрунтуються на використанні енергії гірського масиву, в тому числі й технології анкерного кріплення.

У результаті вже через два роки було розроблено, випробувано й у встановленому порядку 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, проектування та спорудження виробок з анкерним кріпленням [9, 10].

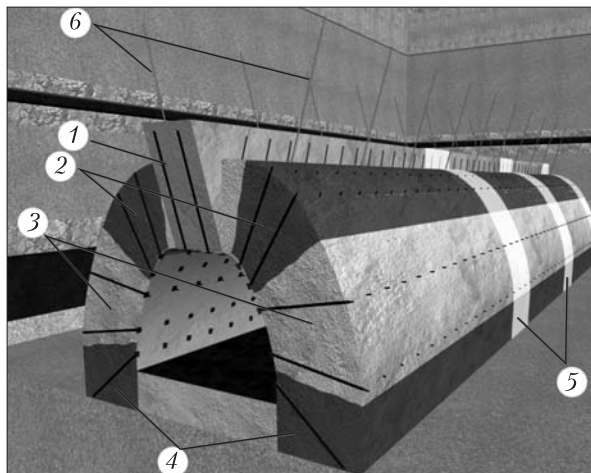


Рис. 1. Формування породно-анкерних елементів технології силового опорно-анкерного кріплення перекриття виробки: 1 – силова частина; 2 – підпірна частина; 3 – опори; 4 – основа конструкції; 5 – захисні перемички; 6 – анкери глибокого закладення (канатні)

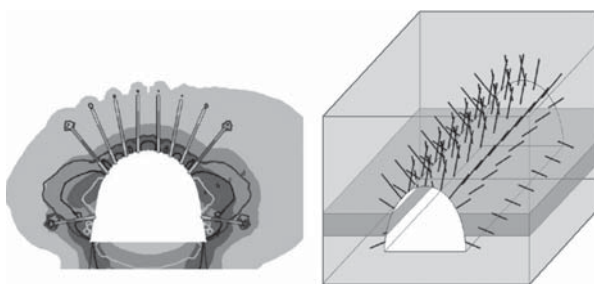


Рис. 2. Напружено-деформований стан породного масиву навколо виробки, закріпленої анкерним кріпленням



Рис. 3. Гірнична виробка з анкерним кріпленням

Паралельно з проведенням наукових досліджень у м. Макіївка під патронатом фахівців Мінвуглепрому та за безпосередньої участі вчених ІГТМ НАН України було побудовано і в 1998 р. введено в експлуатацію завод з виготовлення анкерів і ампул з хімічним складом для закріплення анкерів у масиві. Завод «Карбо та кріплення» успішно працює й сьогодні. Водночас спільно з фахівцями Інституту чорної металургії НАН України було відпрацьовано і розроблено технічні умови для технології виробництва прокату для анкерних штанг.

Отже, за неповні два роки було створено необхідну наукову і виробничу базу для промислової реалізації технології анкерного кріплення. Це дало змогу вже в 1999 р. розпочати широкомасштабні промислові випробування британського варіанта цієї технології. В наступні роки її було впроваджено на 15 вугільних шахтах. Як приклад можна навести шахту «Павлоградська» об'єднання «ДТЕК Павлоградвугілля», на якій було повністю реалізовано британську технологію анкерного кріплення збірного штреку на ділянці завдовжки 750 м. Цю виробку підтримували в експлуатаційному стані понад 2,5 року без жодного ремонту. При цьому виробка, споруджена паралельно, але з традиційним рамним кріпленням, зазнала всіх характерних для шахт України бід: наднормативна втрата перерізу виробки, здимання ґрунту до 600 мм, що призвело до необхідності ще до пуску лави здійснити підривання ґрунту по всій довжині виробки і т.ін.

Такі результати в Україні було отримано вперше, вони були новими, позитивними і значущими, але при цьому – типовими для зарубіжних шахт, які вже застосовували британську технологію кріплення виробок. Однак добре відомо, що геологія вугільних родовищ України значно відрізняється від інших вугільних родовищ світу і, на жаль, не в кращий бік. Тому британська технологія мала у нас досить обмежену сферу застосування. Потрібен був український варіант технології.

Як уже було зазначено, результати виконаних фундаментальних досліджень дали змогу встановити принципово важливу роль різних

малоенергомістких впливів на процес руйнування гірських порід, які можуть ефективно або активізувати, або ж блокувати процес руйнування. Так от, у нашому випадку саме анкер виконує роль ефективного інструмента, що блокує процес руйнування порід навколо виробки. Майстерність полягає в тому, щоб залежно від конкретних українських гірничо-геологічних умов за допомогою анкера сформувати навколо контуру виробки систему породно-анкерних блоків, яка і є головним елементом блокування процесу руйнування (рис. 1). Її основне завдання — заблокувати початок, а ще краще не допустити взагалі процесу руйнування порід. При цьому чим менше часу витратиться на встановлення анкерів для формування блоків, тим надійнішою буде виробка. Правильний вибір просторових схем установа анкерів дозволяє керувати напружено-деформованим станом гірського масиву і споруджувати виробку практично з будь-яким заданим терміном експлуатації — 5, 10 і більше років.

Параметри схем установа анкерних штанг визначаються методом скінчених елементів у об'ємній пружно-пластичній постановці (рис. 2).

Модель вирізняється тим, що вперше дає можливість обліку часу встановлення анкерів і початку їх роботи, що має принципове значення для розрахунку технологічних параметрів та підвищення ефективності технології кріплення. Крім того, в Інституті застосовують методологію розв'язання задач, засновану на врахуванні закономірностей механізму зрушення суцільного різномодульного гірського масиву, схильного до розшарування під час проведення гірничих робіт.

За такої технології кріплення виробок 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 [11].

Таким чином, величезний обсяг наукових результатів, а також накопичений практичний досвід супроводу технологій анкерного кріплення в різних гірничо-геологічних умовах дозволив

нам здійснити перехід від британської технології підсилення порід покрівлі виробок до української технології силового опорно-анкерного кріплення гірничих виробок (рис. 3).

Поєднання переваг двох технологій кріплення виробок — традиційної рамної і анкерної — дало змогу запропонувати ще одну високо-ефективну технологію — анкерно-рамну, в якій повною мірою використовуються усі позитивні якості металеві рамного кріплення, але воно виконує функцію вже не основного кріплення, а допоміжного, і працює в набагато м'якшому режимі. При цьому кількість рам значно скорочується, а виробки стають ще надійнішими та стійкішими, що дуже важливо у разі, якщо виробки потрібно зберегти для подальшого використання після проходки першої лави.

На основі отриманих результатів було скориговано нормативні документи, які в 2009 р. затверджено Мінвуглепромом України як галузевий стандарт [12].

22 січня 2012 р. відбулася зустріч керівництва найбільшої вітчизняної паливно-енергетичної

Порівняння вартості аркового та анкерного кріплення

Найменування	Вартість 1 п.м при проведенні 1000 п.м, грн
<i>Аркове кріплення</i>	
Аркове кріплення АКП-3/11,2, комплект	3814,42
Затяжка дерев'яна, м ³	156,29
У с ь о г о	3970,71
<i>Анкерне кріплення</i>	
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 1,1 × 2 (50 × 50, 5,0 мм)	180,00
У с ь о г о	1444,11

компанії «ДТЕК» з президентом НАН України академіком Б.Є. Патонем. На засіданні Президії НАН України було розглянуто питання використання наукового потенціалу академічних установ для розв'язання нагальних завдань вугледобувної галузі, а також технічних і технологічних проблем компанії «ДТЕК».

Директор з видобутку вугілля компанії «ДТЕК» А.В. Смирнов сказав, що керівництво компанії підтримуватиме насамперед ті проекти, які дадуть змогу значно знизити собівартість видобутку вугілля (див. табл.) і підвищити безпеку ведення гірничих робіт. Після детального обговорення всіх пропозицій керівництво ДТЕК ухвалило рішення про широкомасштабне застосування технології анкерного кріплення на своїх шахтах. Наскільки А.В. Смирнов мав рацію, підтверджує статистика: за 9 місяців поточного року собівартість 1 т товарного вугілля на державних шахтах збільшилася на 10,9 %, а на шахтах ДТЕК — зменшилася.

На виконання прийнятого рішення з початку поточного року співробітники Інституту провели навчання інженерно-технічного складу шахт, здійснили геомеханічне обстеження, розробили рекомендації та виконали роботи з контролю дотримання нормативних вимог щодо проведення виробок з анкерним і анкерно-рамним кріпленням на 94 гірничих виробках 22 шахт шахтоуправлінь «Добропільське» і «Білозерське» ТОВ «ДТЕК Добро-

пільявугілля», ТОВ «ДТЕК Ровенькиантрацит», ТОВ «ДТЕК Свердловантрацит», ПАТ «ДТЕК Шахта Комсомолец Донбасу». Крім того, виконано роботи на 26 гірничих виробках інших вугледобувних об'єднань — ПАТ «Краснодонвугілля», ТОВ «Краснолиманське», ДП «Антрацит», ДП «Львіввугілля». Усього охоплено 120 виробок.

На завершення слід зазначити, що всі виробки з анкерним і анкерно-рамним кріпленням, проведені з дотриманням рекомендацій Інституту, а це понад 700 км на більш як 50 шахтах України, показали себе надійними і безпечними у процесі проходки та експлуатації, було поліпшено умови праці шахтарів, забезпечено істотне зниження затрат 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.

На основі отриманого матеріалу з практичного застосування анкерного кріплення на шахтах ДТЕК та інших вугледобувних об'єднань на підставі СОУ 10.1.056411357.010:2008 підготовлено проект нового нормативного документа, що регламентує застосування передової технології анкерного й анкерно-рамного кріплення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Глушко В.Т. Проявление горного давления в глубоких шахтах. — К.: Наук. думка, 1971. — 196 с.
2. Булат А.Ф., Курносое А.Т. Управление геомеханическими процессами при отработке угольных пластов. — К.: Наук. думка, 1987. — 200 с.
3. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. — К.: Наук. думка, 1989. — 192 с.
4. Зорин А.Н., Колесников В.Г., Софийский К.К. и др. Механика и физика динамических явлений в шахтах. — К.: Наук. думка, 1979. — 163 с.
5. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. — К.: Наук. думка, 1979. — 136 с.
6. Зорин А.Н., Колесников В.Г., Минеев С.П. и др. Управление состоянием горного массива. — К.: Наук. думка, 1986. — 216 с.
7. Булат А.Ф., Курносое А.Т., Русанцов Ю.А. Управление состоянием предельно напряженного породного массива малоэнергоёмкими воздействиями. — К.: Наук. думка, 1993. — 176 с.
8. Кирничанский Г.Т. Элементы теории деформирования и разрушения горных пород. — К.: Наук. думка, 1989. — 184 с.
9. КД 12.01.01.501-98. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги. — Введ. 1999-04-16. — К.: Мінвуглепром України, 1999. — 52 с.

10. КД 12.01.01.502-98. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Порядок та організація. — Введ. 1999-08-21. — К.: Мінвуглепром України, 1999. — 19 с.
11. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. — Днепропетровск, 2002. — 372 с.
12. СОУ 10.1.05411357.010:2008. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги. — Введ. 2009-02-01. — К.: Мінвуглепром України, 2008. — 69 с.

А.Ф. Булат

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины
ул. Симферопольская, 2а, Днепропетровск, 49005, Украина

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ УКРАИНЫ

Показаны преимущества разработанной в Институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины технологии опорно-анкерного крепления горных выработок. Предложена концепция управления устойчивостью выработок с помощью конструкции из породно-анкерных элементов с высоким запасом прочности. Проведено апробирование и масштабное внедрение новой технологии на угольных шахтах Украины.

Ключевые слова: горная выработка, анкер, рамная крепь, полимерный закрепитель.

A.F. Bulat

Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics
of National Academy of Sciences of Ukraine
2a Simferopolskaya St., Dnipropetrovs'k, 49005, Ukraine

ADVANCED TECHNOLOGIES FOR TUNNEL SUPPORTING IN UKRAINIAN COAL MINES

This report demonstrates the advantages of the roof support bolting technology designed by the Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of NAS of Ukraine. A concept of stability control in the tunnels which uses a structure consisting of rock-anchor elements with a great safety factor is proposed. The new technology is tested and broadly implemented in Ukrainian coal mines.

Keywords: tunnels, anchor, frame support, polymeric fixer.