

УДК 622.258: 622.012

[https://doi.org/10.31474/2073-9575-2020-3\(23\)-4\(24\)-78-100](https://doi.org/10.31474/2073-9575-2020-3(23)-4(24)-78-100)В.В. Левіт
В.І. Каменець
Ю.В. Мукомел**ПРО ДОСВІД І ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ
ПРОХОДЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТВОЛІВ В УКРАЇНІ**

Мета. Аналіз виробничого досвіду, науково-технічних розробок і оцінка перспектив застосування і розвитку технологій спорудження вертикальних шахтних стволів в Україні в контексті необхідності відновлення вугледобувної галузі для збереження енергетичної незалежності держави.

Методика. Використано методи аналізу накопиченого виробничого досвіду проходки стовбурів в Україні, на пострадянському просторі і в провідних гірничодобувних країнах, а також науково-технічної літератури.

Результати. Розглянуто і доповнено класифікацію технологій і способів проходки вертикальних стволів, проаналізовані застосовувані і перспективні для України технологічні схеми і устаткування для будівництва стовбурів звичайним і спеціальними способами, узагальнений виробничий досвід трестів Донецькшахтопроходка і Спецшахтобуріння з точки зору використання при будівництві стволів блоку №12 ПАТ "Шахтоуправління "Покровське". Обґрунтовано можливість застосування модифікованої паралельної технологічної схеми проходки. Оцінено перспективи механізованої проходки стволів в Україні - бурінням і з застосуванням стволіпрохідницьких комбайнів. Дана характеристика умов спорудження та експлуатації стволів кріплень - завершального елемента ствола, як конструкції і функціонального комплексу. Розглянуто варіанти комбінованих кріплень, в тому числі і з використанням фібробетону.

Наукова новизна. Узагальнено результати аналізу технологічних схем і способів проходки вертикальних стволів, накопиченого виробничого досвіду і науково технічних розробок, розглянуті тенденції і перспективи розвитку технологій.

Практична значимість. Виконано аналіз технологічних схем і способів проходки вертикальних стволів на базі вітчизняного та зарубіжного виробничого досвіду.

Ключові слова: вертикальний ствол, технологія проходки, технологічна схема, буровибухові роботи, буріння стволів, стволіпрохідницький комбайн.

Вступ.

В даний час будівництво вертикальних стволів є затребуваною, перспективною та зростаючою частиною гірничодобувної галузі. Тенденція збільшення обсягів проходки спостерігається в ближньому і далекому зарубіжжі. Існуюча світова потреба в інноваційних проектах будівництва шахтних стволів і необхідність модернізації апробованих методів обумовлена вимогами гірничопромислових компаній.

У всьому світі (дані по КНР відсутні) щорічно вводиться в експлуатацію від 8 до 12 шахтних стволів, глибиною понад 800 м, пройдених з земної поверхні.

Причина полягає у все зростаючій потребі промисловості в сировині і відповідному зростанню цін, яке стимулює реконструкцію старих і будівництво нових гірничодобувних підприємств.

Радянська школа будівництва стволів почала розвиватися в 30-і роки ХХ с. З цього моменту до кінця 80-х рр. був пройдений довгий шлях розвитку. Були розроблені і активно застосовувалися при проходці

спочатку оригінальні, а потім серійні технології (суміщена, паралельно-щитова) і техніка (прості і надійні бурильні установки типу БУКС і СМБУ, навантажувальні комплекси типу КС). Широко використовувалися спеціальні способи, такі як заморожування, тампонаж порід різними складами розчинів, опускне кріплення, стіна в ґрунті, кесонна, водозниження і т.д. Були створені бурильні установки різних типів (роторного, реактивно-турбінного, кернового буріння, комбайнового) з руйнуванням породи як відразу на весь переріз, так і з подальшим розширенням. У кращі роки обсяги проходки перевищували 20 тис. м в рік.

Необхідно відзначити, що радянські, а це, перш за все, українські (в трестах «Донецькшахтопроходка» і «Спецшахтобуріння»), технологічні досягнення досі принципово відповідають сучасним світовим підходам до даного питання.

На жаль, в постперебудовний час споруджуваних об'єктів було дуже мало, шахтобудування знаходилося в занепаді,

гроші не виділялися. У цей період шахтне будівництво в Україні обмежувалося кількома стволами, що знаходилися в прохідці, і ремонтними роботами в раніше зведених стволах, на яких, в силу складних гідрогеологічних умов, виникали ускладнення, відбувалися аварії. Більше 40 стволів в Україні і сьогодні законсервовані або просто покинуті.

Починаючи з 2001-2003 рр., завдяки зусиллям флагманів вугільної галузі України шахти ім. Засядька і ШУ «Покровське» шахтопрохідницька галузь почала відроджуватися, хоча, як і раніше, підприємствам державного сектора не виділяються кошти для будівництва нових і навіть реконструкції експлуатованих стволів.

Потрібно відзначити, що в даний час, поряд з фінансовими та кадровими, виникають труднощі ще й у зв'язку з ускладненням умов проходки і підвищенням вимог до якості виконуваних робіт. Перехід до розкриття запасів, що залягають на великих глибинах, зумовив появу ряду нових і загострення існуючих проблем: зростання температури гірського масиву, високий ступінь обводнення порід і агресивність підземних вод, підвищений гірничий тиск і ін. Все це змушує шукати і приймати нові нестандартні рішення по проходженню вертикальних стволів. Розширюється область застосування спеціальних способів, активніше використовуються потужні, багат шарові види кріплень. Однак, все перераховане, при існуючих методах проектування, консервативних технологіях будівництва і застарілому обладнанні знизило швидкості проходки, що досягає сьогодні в середньому всього 30-40 м в місяць.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Сьогодні спорудження вертикальних стволів є перспективним і таким, що бурхливо розвивається, напрямком гірничодобувної галузі і освоєння підземного простору в цілому. У наявності тенденція зростання обсягів проходки на пострадянському просторі і в усьому світі. Затребувані інноваційні проекти будівництва шахтних стовбурів, тому необхідно модернізувати апробовані способи спорудження і розробляти нові, що

відповідає запитам інвесторів і провідних гірничопромислових компаній.

Аналізу накопиченого досвіду спорудження вертикальних шахтних стволів, класифікації технологічних схем і способів проходки, перспективам їх розвитку, альтернативного використання стволів присвячені роботи зарубіжних [1-5] і вітчизняних [6-10] авторів.

Однак зазначені питання розглядаються в роботах окремо, тому представляється цікавим узагальнити наявні дані в одному огляді.

Методи досліджень.

Використовувалися методи аналізу накопиченого виробничого досвіду проходки стволів в Україні, на пострадянському просторі і в провідних гірничодобувних країнах, а також науково-технічної літератури.

Виклад основного матеріалу.

Розглянемо класифікацію технологій проходки.

Виділяють наступні способи проходки стволів (рис. 1):

- традиційний, із застосуванням БПР;
- спеціальні;
- механізований:
 - проходка штанговим бурінням;
 - проходка комбайновим способом.

Традиційна технологія будівництва шахтних стволів. Спосіб проходки із застосуванням буропідривної роботи - це традиційна технологія, яка припускає найбільшу гнучкість застосування. Вона придатна як в стійких, так і в нестійких породах, і при необхідності використовується в сукупності зі спеціальними методами, наприклад, цементациєю або штучним заморожуванням гірських порід.

В основу проходки в твердих породах покладена буропідривна технологія з довжиною заходки 4-4,5 м. При цьому всі основні прохідницькі процеси намагаються максимально механізувати і організувати роботи таким чином, щоб домогтися ритмічності в їх виконанні, тобто кожна зміна в ідеалі повинна постійно потрапляти на одну й ту ж прохідницьку операцію [1, 5].

Сучасний рівень техніки характеризується подвиганням вибою за один цикл до 4,5 м. За кордоном цьому сприяє застосування баддів ємністю 5-7 м³ і

багатолопатових грейферів з місткістю ківшу до 1,3 м³ (порівняти: в Україні баддя максимум до 5 м³ і грейфер 0,63 м³) в поєднанні з високопродуктивними двобарабанними підйомними машинами та автоматичними перекидачами баддів. Цей показник характерний для техніки проходки шахтних стволів як в Південній Африці, так і в Північній Америці і Європі. Так, в ПАР із застосуванням цієї технології вже успішно побудовано стволи глибиною до 3 км.

Буріння. При проходженні стволів використовуються бурильні установки, обладнані двома-шістьма, в залежності від площі перетину, пневматичними перфораторами. Вони швидко приводяться в робоче положення, можуть легко транспортуватися в складеному вигляді і вимагають при бурінні знаходження в забої не більше 5-6 чоловік. В особливо твердих породах застосовують гідравлічні перфоратори, встановлені на тих же конструкціях підтримки. У сучасних модифікаціях кожен перфоратор обладнаний міні-процесором.

Навантаження породи. Для навантаження породи найчастіше використовують багатолопатові грейфери з числом пелюсток до 8 і об'ємом до 1,3 м³, які підвішують до прохідницького полку. Обсяг грейфера вибирають відповідно до обсягу прийнятої прохідницької бадді, вважаючи співвідношення 1:5 або 1:6 оптимальним.

Поряд з грейфером на канатній підвісці знаходять застосування (в останні десятиліття вкрай рідко) грейфери з примусовою подачею і ковшові вантажні машини, що дозволяють краще зачищати вибій, частково руйнувати породу і виконувати планування (ПАР). На ринку є грейфери з примусовою подачею канадської фірми «Crydermann shaft mucker» і шведської «Alimak shaft mucker» [1, 2, 4], які позитивно зарекомендували себе при проходженні стволів з прямокутною формою поперечного перерізу і в похилих стволах.

Кріплення. Кріплення стволів проектують, виходячи з конкретних умов проходки і експлуатації, максимально використовуючи отриману інформацію при геологічній розвідці.

Для кріплення вертикальних стволів в звичайних умовах використовують бетон,

що подається ставами труб або контейнерами, або залізобетон. У стволах, споруджуваних способом заморожування, широко застосовують комбіновані кріплення з тубінгами, там же, де очікується вплив очисних робіт, зводять багатошарові кріплення зі змінним шаром з асфальту або облаштуванням деформаційних швів.

У буропідливній технології проходки стволів розрізняють такі основні схеми проходки [1, 5, 10].

Послідовна. Всі операції прохідницького циклу шикуються в строгу черговість при відсутності суміщення робіт. Схема застаріла, застосовувалася в 30-40 роки минулого століття і дозволяє досягти максимальних темпів 20-25 м/міс. В сьогоденнішніх реаліях допустима при застосуванні спеціальних способів проходки або поглиблення з нижчих горизонтів діючих стволів.

Суміщена. Основна технологічна схема у вітчизняній практиці. При цьому суміщення робіт вкрай незначне: 2-3 години, при тривалості циклу 20-30 годин. Назва схема отримала не через суміщення за часом, а через суміщення в просторі: бетонування і прибирання породи ведуться на ділянці забою ствола 4-5 м при, повторимося, невеликому поєднанні у часі.

Досягнуті темпи при хорошій організації робіт і сприятливих гірничо-геологічних умовах 90-120 м/міс. (В історії незалежної України це стволи шахти ім. Засядька і ШУ «Покровське», споруджені трестом «Донецькшахтопроходка»). Є рекордні показники до 200 м/міс (Україна і країни СНД), які згодом себе не виправдовують - брак, травматизм, приписки, які виявляються пізніше тощо.

Привабливість схеми також в навченості наявного персоналу і наявності на території України і СНД необхідного гірничошахтного обладнання, нехай і не нового.

Паралельна. У цій схемі буропідливні роботи і виїмка породи відбуваються паралельно з кріпленням ствола. Бетон в стіни ствола подається за опалубку, пов'язану з прохідницьким полком на висоті 20-30 м від вибою. Така технологія, крім паралелізації процесів, покращує геомеханічний стан системи «кріплення-порода», за рахунок бетонування



Рис. 1. Класифікація способів проходки стволів

«розвантаженого» масиву (інтервал у часі між вибуховими і бетонними роботами, або час оголення стін забою, в порівнянні з суміщеною схемою збільшений мінімум на 12 годин).

Варіантами цієї схеми є способи тимчасового кріплення оголеної частини ствола:

а) «полок-щит» - складна і багатотонна конструкція, що перекриває 30 м ствола і передбачає насичене оснащення поверхні; (Рис. 2);

б) анкерно-сітчасте кріплення стін стовбура, що спрощує оснащення і створює додаткове посилення стовбового кріплення. (Рис. 3);

За варіантом «а» трестом ДШП встановлений світовий рекорд проходки 401 м (не зареєстрований). За варіантом «б» встановлено світовий рекорд проходки 380 м (ПАР, зареєстрований) [1, 5].

Паралельний спосіб проходки передбачає меншу кількість обладнання на поверхні, але потребує складний багатоповерховий прохідницький полок. Проте, спосіб, навіть при необхідності часткового перенавчання персоналу,

перспективний і можливий в умовах ШУ «Покровське».

Головною перевагою традиційної технології є її пристосованість для будь-яких гірничо-технологічних умов, відкритий, доступний для моніторингу вибій ствола, прогнозованість темпів і економічних показників, навченість вітчизняних прохідників основним операціям прохідницького циклу і можливість модернізації проходки за рахунок застосування наявних на ринку гірничошахтного обладнання більш потужних, ніж вітчизняні, машин і механізмів.

До недоліків можна віднести складне і енергоємне обладнання проходки ствола терміном до 2 років, перебування людей у вибої, обов'язковий безперервний режим роботи, велика прилегла територія (більше 15 га), екологічні і соціальні проблеми на прилеглих територіях.

Вартість 1 м проходки ствола звичайним способом близько 10 тис. доларів США.

Досягнуті темпи проходки характеризують граничні ТЕР традиційної

техніки і технології будівництва шахтних стволів.

Саме тому потенційні шахтобудівні компанії і постачальники машин все частіше отримують запити міжнародних гірничопромислових компаній, які вимагають створення більш досконалої технології і потужного устаткування для прискорення проходки шахтних стволів з дотриманням найвищих вимог техніки безпеки та якості робіт.

Спеціальні способи проходки.

Технології спеціальних способів призначені для створення нормальних умов проходки у вибоях (зміцнення слабких і пливунних порід, зниження водопривлівів, попереднє захисне кріплення та ін.). Подальші способи проходки традиційні, проте, темпи проходки при цьому знижені по ряду причин, головна з яких - необхідність щадного впливу на оброблений тим або іншим способом, оточуючий породний масив [1, 2, 5].

При наявності слабких, обводнених порід, в т.ч. з пливунними властивостями, набір прийомів обмежений.

Заморожування. Дорогий, тривалий, але надійний спосіб. Застосовують при великій потужності водоносних порід і при великому статичному напорі води. Суть методу полягає в тому, що навколо ствола гірські породи заморожують, в результаті чого утворюється льодопородний циліндр, що захищає ствол від проникнення в нього води або пливуну в період проходки. Для заморожування порід бурять свердловини, глибиною на 3-4 м більше необхідної глибини промерзання. У свердловини встановлюють заморожуючі колонки, по яких циркулює охолоджений до негативної температури (від -25 до -35°C) розчин хлористого кальцію (CaCl_2) або хлористого магнію (MgCl_2), що надходить від заморожувальної станції. В якості холодоагенту застосовується також рідкий азот. Навколо кожної свердловини

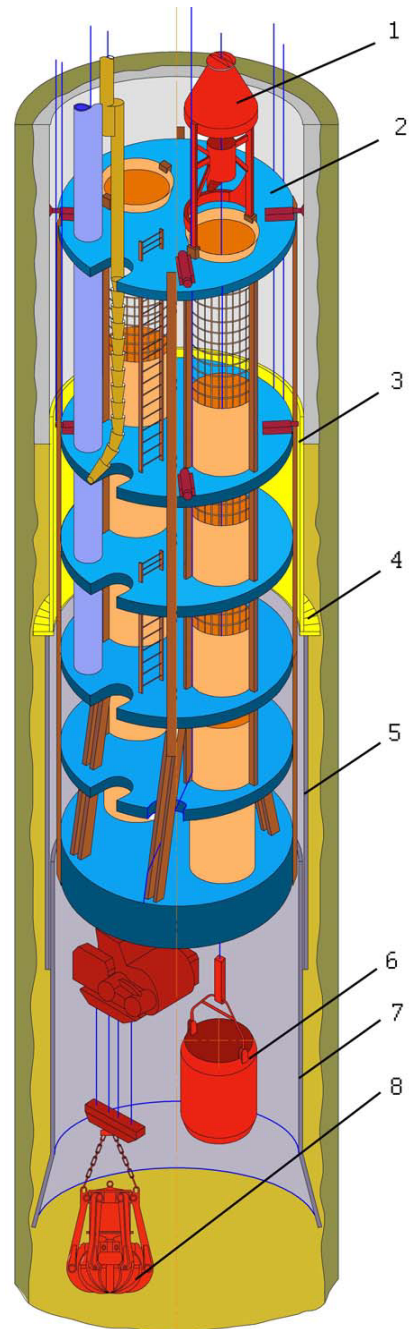


Рис. 2. Паралельна схема проходки ствола (зі щитом-оболонкою):

- 1-напрямна рамка бадді, 2-багатоповерховий підвісний полок; 3-опалубка; 4-піддон опалубки; 5-захисна обійма; 6-баддя; 7-щит- оболонка; 8- породонавантажувальна машина

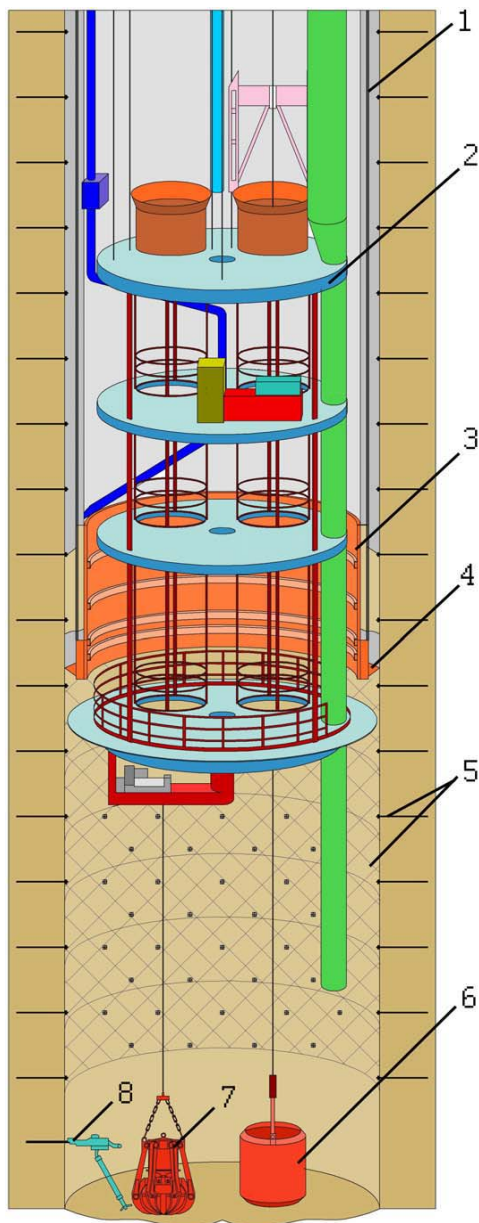


Рис. 3. Паралельна схема проходки ствола (з анкерним тимчасовим кріпленням)

1-тяги підвіски опалубки всередині стін стовбура, 2-багатоповерховий підвісний полок; 3-опалубка; 4-піддон опалубки; 5-тимчасове кріплення з анкерів і сітки; 6-баддя; 7-грейфер породо-навантажувальної машини, 8-перфоратор для буріння горизонтальних шпурів під анкери

поступово утворюється льодопородний циліндр, згодом замикається з сусідніми і утворює суцільну льодопородну товщу, під захистом якої ствол проходять звичайним способом. (Рис. 4)



Рис. 4. Облаштування технологічного відходу із застосуванням заморожування

Швидкість наростання льодопородного циліндру залежить від властивостей породи і їх водоносності і змінюється від 6-7 см/добу в перші дні до 1 см/добу в кінці заморожування. Процес заморожування вимагає моніторингу. Потім ствол проходять із застосуванням буропідривних робіт. При цьому паспорт БПР повинен бути щадним, щоб вибух не порушував стінок льодопородного циліндру.

Технологія передбачає великий обсяг бурових робіт, спеціальне дороге холодильне обладнання та оснащення, великий, не завжди точно передбачуваний час на створення льодопородного циліндру і підтримання його на час проходки. Подальше відтавання загрожує винесенням порід в ствол, провалами і ін. Останнє заморожування в радянській Україні було в 80-х роках 20 століття, а в незалежній Україні на повітроподавальному стволі № 2 ШУ «Покровське» у 2003-2004 рр. В даний час, за нашими даними, в Україні відсутнє таке обладнання і необхідний персонал, як для роботи, так і проектування.

Опускне кріплення (рис. 5) представляє собою замкнутий циліндр з бетону, залізобетону або металевих тубінгів, забезпечений знизу ріжучим

черевиком («ніж»). У міру виїмки породи циліндр, постійно нарощуваний, опускається, перегороджуючи прорив слабких порід у вибій ствола. «Ніж» повинен випереджати вибій на 0,5-0,8 м. Кріплення опускають до тих пір, поки її ріжуче кільце не проникне в водотривкі породи. Металеве опускне кріплення може бути занурена примусово за допомогою гідравлічних домкратів вантажопідйомністю 100-200 т.

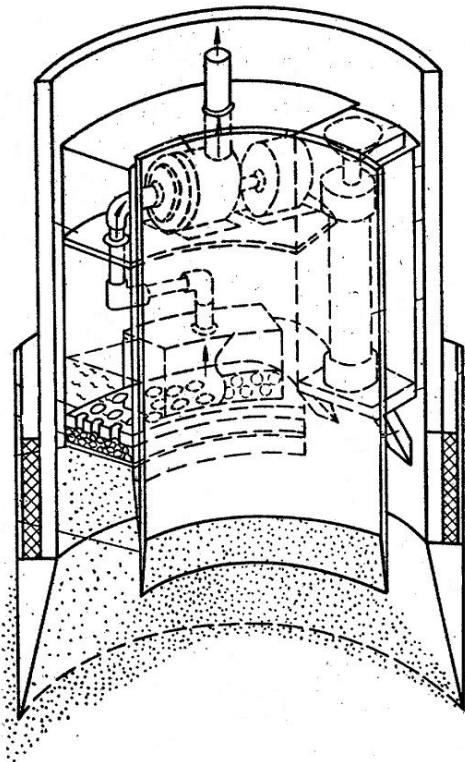


Рис. 5. Фрагмент опускного кріплення

В шахтоуправлінні «Покровське» в даний час триває будівництво блоку №11, в січні розпочато будівельні роботи на проммайданчику блоку №12.

Будуть пройдені два стволи - повітроподавальний і вентиляційний з скіповим підйомом. Глибина кожного з них - 1 400 метрів.

В даний момент завершено етап попередньої підготовки майданчика - пробурені дві геологорозвідувальні свердловини, побудовано огорожу для зберігання матеріалів, проведено розвідувальний шурф, і для посилення його конструкції у верхній частині залите бетонне кільце.

Найближчим часом будуть розпочаті роботи по монтажу унікального опускного «ножа» (рис. 6), виготовленого на заводі

СІМЗ. Його вага становить 16,5 тон, діаметр - 9 метрів, а висота - 2,5 метра. За допомогою цього ножа в зоні пливунів будуть пройдені перші 30 метрів ствола.



Рис. 6. Деталі опускного «ножа» на проммайданчику блоку №12 ШУ «Покровське», лютий 2021 р.

Спосіб, за умови невеликої глибини пливунних порід (до 30 м), альтернативний заморожуванню, дешевше нього і економніше. З успіхом застосовувався в ШСК «ДШП» на блоках №10 і №11 ШУ «Покровське». Наявний персонал навчений даній технології. Рішення про застосування опускного кріплення приймається на стадії проектування після геологорозвідки.

Водопридушення, (рис.7).

При підвищених водоприпливах в ствол (більше 10 м³/год) завдання проходження ствола ділиться на дві частини: як пройти, і як потім упорядкувати або відвести воду. Проходження при великих водоприпливах вкрай утруднене і передбачає багатоступеневу схему відкачування і попередній або наступний тампонаж. Суть методу полягає в попередньому заповненні тріщин і пустот в гірських породах в'язкими речовинами.

Залежно від застосовуваного в'язучого речовини розрізняють три способи тампонування - цементация, глинзация і бітумизация.

Цементация застосовують при перетині міцних тріщинуватих і сильноводонених порід з припливом води понад 25-30 м³ / год. При невеликій глибині залягання і незначній потужності водоносного пласта породи тампнують з поверхні землі, в інших випадках - безпосередньо з вибою ствола.



Рис. 7. Роботи з водопридушення

При тампонування з поверхні тампонажні свердловини розташовують по колу, діаметр якої на 3-4 м більше діаметру стовбура в проходці. Відстань між свердловинами по колу 2-3 м.

З вибою ствола гірські породи тампонують заходками глибиною 12-50 м. Як нагнітається розчину найбільш часто застосовують цементний. Перед початком буріння свердловин у вибої ствола споруджують тампонажні подушки для запобігання виходу розчину у вибій при нагнітанні.

Процес глинізації і бітумізації аналогічний цементациї.

Якість тампонажних робіт перевіряють бурінням контрольної свердловини на величину тампонажної заходки. Тампонаж або цементация дають хороший результат при підвищеній тріщинуватості порід. В умовах ШУ «Покровське» багаторічний досвід ДШП дозволяє стверджувати, що цементация мало ефективна. Це пов'язано з мікропористими пісковиками, які погано «беруть» цементний розчин, так як зерно цементу більше розміру пори. Більш ефективна, як знову ж показує досвід, подальша хімізация закріпного простору (скіповий ствол ШУ «Покровське»). На період проходки, в разі

великих і дуже великих водоприпливів, доводиться будувати проміжні насосні камери, прив'язуючи їх до водоносних горизонтів. Така технологія різко знижує темпи проходки і здорожує її. Надалі, при експлуатації ствола, підвищені водоприпливи також є складною витратною проблемою.

Випереджаючі (забивні) кріплення (рис. 8) застосовують при проходженні стволів в пухких і пливунних породах потужністю до 6-8 м при глибині залягання не більше 10-12 м від поверхні. Суть методу полягає в тому, що перед початком виїмки породи по контуру майбутнього ствола на всю потужність пливунів забивають палі (дерев'яні або металеві), що утворюють тимчасове шпунтове огороження. Під його захистом виймають породу і зводять постійне кріплення ствола. Спосіб рідкісний і давно не застосовується.



Рис. 8. Випереджуюче кріплення

Інші спеціальні способи: кесон (роботи проводяться у вибої, де створено підвищений тиск), в даний час майже не застосовується, і «стіна в ґрунті», доцільна при спорудженні великих котлованів: спочатку траншея, що оконтурює котлован, заповнюється бетоном і наступні роботи проводяться під захистом створеної стіни. Як варіант - оконтурювання створюється буросічними палями (рис. 9).



Рис. 9. Буросічні палі по периметру котловану

Підводячи підсумки огляду традиційних технологій проходки шахтних стволів, в рамках яких застосовуються і спеціальні способи, скажімо, що вони, маючи зазначені переваги і недоліки користуються перевагою в силу гнучкості і досягнутого високого рівня розвитку. Однак сучасні вимоги значного підвищення швидкості і економічності проходки з одночасним підвищенням безпеки праці стануть здійсненними тільки при модернізації технології, тобто із застосуванням механізованої проходки шахтних стволів. Механізована проходка стволів часто є альтернативою спецспособам і має на увазі буріння з поверхні або руйнування вибою ствола безпосередньо на поточній позначці його спорудження.

Механізована проходка стволів.

Приблизно 70-80% всіх стволів шахт споруджуються із застосуванням традиційної буропідривної технології. І тільки лише 20-30% стволів споруджуються механізованим способом, будь то з випереджаючою свердловиною або без неї. При цьому, техніка і технологія буріння шахтних стволів дозволяють реалізувати безперервні і одночасні процеси відбою і відвантаження породи, що істотно підвищує ТЕМ проходки. Завдяки сучасному розвитку техніки буріння шахтних стволів механізація їх проходки з метою підвищення продуктивності і зниження витрат здійснюється в усьому світі прискореними темпами [1, 4, 5, 10].

Дуже багато принципів винаходів в області механізованої проходки стовбурів було зроблено в 1980-і роки. Саме ці підходи реалізуються зараз, але вже новими потужними машинами, вдосконалим ріжучим інструментом, сучасними технологіями руйнування порід, рецептами бурових розчинів і їх очищення, рециркуляції тощо.

Великий внесок у розвиток даної технології внесли інженери і фахівці тресту, а потім холдингу «Спецшахтобуріння» в союзі з компанією «Вірт». В наші дні компанії Herrenknecht AG, Шванау-Альмансвейер, Thyssen-Schachtbau GmbH, Мюльгейм-на-Рурі за короткий час виконали великий обсяг проектно-конструкторських робіт з метою докорінного поліпшення і диверсифікації технології механізованої проходки шахтних стволів бурінням. Широко застосовується буріння шахтних стволів в Китаї. Досягнуті результати дозволили розширити сферу застосування цієї технології.

Механізація проходки стволів шахт класифікується наступним чином (рис. 10).

Технологія буріння шахтних стволів із застосуванням безштангових стволіпрохідницьких машин з руйнуванням породи в забої буде розглянута в наступному розділі.

Буріння стволів з поверхні (ерліфтне).

Механізована проходка стовбура штанговим бурінням із застосуванням ерліфтової технології здійснюється відразу на повний діаметр з безперервним гідропідйомом бурової дрібниці в першій робочій операції і подальшою установкою кріплення в другій робочій операції. У період буріння роль тимчасового кріплення виконує буровий розчин до складу (щільності) якого ставлять високі вимоги. Після закінчення буріння для постійного кріплення використовується циліндрична оболонка зі сталі товщиною 16-20 мм, із зовнішнього боку якої розташовані бандажі із сталевих прокатного профілю. Таке кріплення стійке по відношенню до зовнішнього гідростатичного тиску 20-40 Н/см² і витримує навантаження, що виникають при монтажі та експлуатації [1,9].

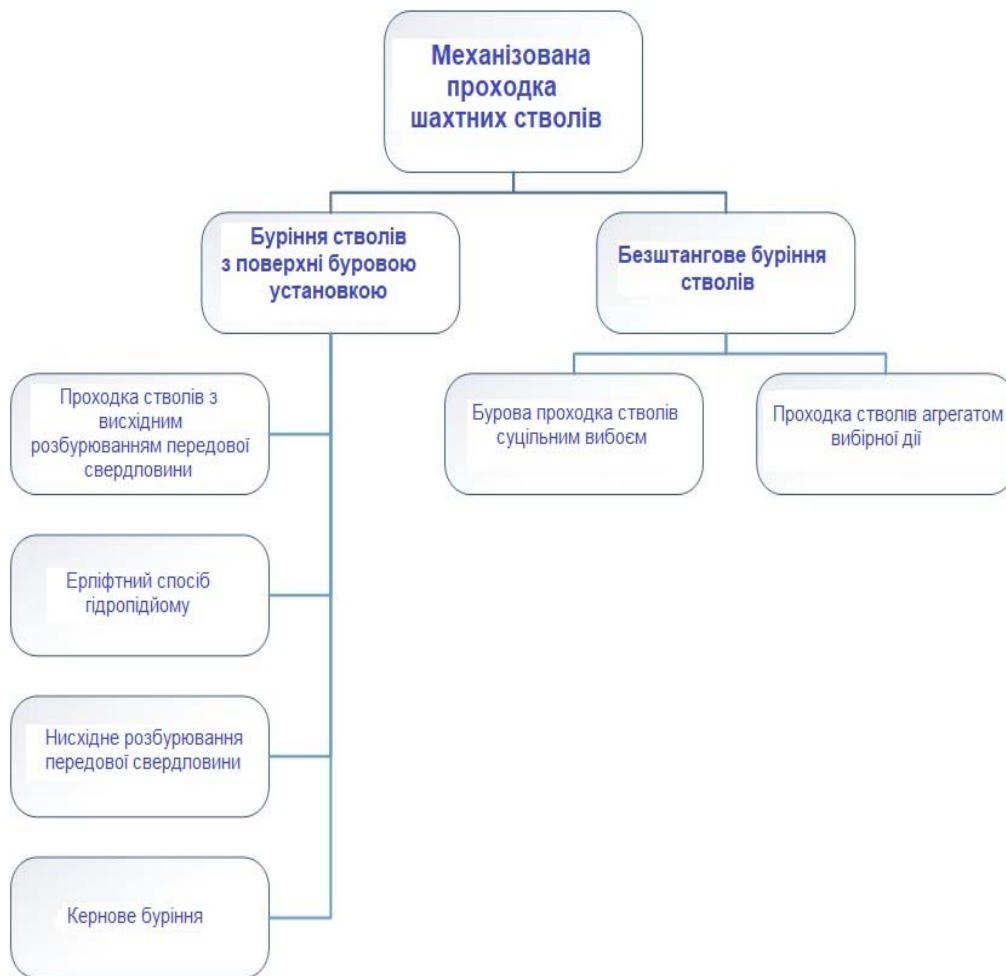


Рис. 10. Механізований спосіб проходки шахтних стволів

Принципово технологія буріння стовбурів з поверхні складається з наступних етапів:

- підготовка майданчика: прокладка мереж, укладка плит, облаштування відстійників, створення побутових умов для персоналу та ін .;

- спорудження гирла свердловини відкритим способом (риття екскаватором і бетонування 5,5 м ствола великим діаметром;

- перебазування і монтаж бурової установки, підключення та випробування її;

- буріння верхньої частини свердловини (кондуктора), зазвичай глибиною 80-100 м, також великим діаметром; (Число кондукторів, їх може бути 2-3, визначається проектом і залежить від геологічного розрізу)

- обсадка металевою трубою пробуреної частини і бетонування закріпного простору;

- буріння протяжної частини свердловини проектним діаметром;

- обсадка металевою трубою пробуреної частини і бетонування закріпного простору;

- відкачка бурового розчину;

- завершення робіт.

Опис і технічні характеристики кожного процесу досить докладно описані в спеціальній літературі. Відзначимо лише те, що процес буріння вимагає високої кваліфікації персоналу, як з точки зору темпів буріння, так і організації підготовчих робіт на поверхні. Наприклад, порушення режиму буріння в частині швидкості обертання і зусилля подачі інструменту, призводить до викривлення ствола - одному з головних факторів ризику при бурінні.

Приготування і очищення бурового розчину передбачає суворе дотримання рецепту і технології, бо розчин сприяє не тільки досягненню швидкості буріння. Головним його завданням є виконання функції тимчасового кріплення, що запобігає обваленню стін і, як наслідок, обриву інструмента.

Постійне кріплення здійснюється окремими секціями довжиною 100-120 м, в залежності від вантажопідйомності установки. Вага секції не повинна перевищувати вантажопідйомність бурової установки. Монтаж таких секцій проводиться шляхом нарощування покровоно зверху кілець висотою 4-6 м. Кріплення занурюється в наповнений буровим розчином ствол. Під час спуску секція утримується загарбним пристроєм на колоні бурильних труб.

Кільцевий зазор між стінкою виробки і встановленим кріпленням заповнюється тампонажним матеріалом. Для забезпечення співвідносності секцій в момент стикування і ущільнення зазору на період закачування тампонажного розчину торці секцій обладнуються конічним напрямним елементом, який після закінчення процесу кріплення руйнується.

Відзначимо, що опуск і зварювання окремих ланок кріплення над стволом, заповненим буровим розчином, пов'язані з ризиком і трудомісткі.

Опуск металевої колони може проводитися, як з відкритим днищем, так і замкнутим знизу «стаканом» - спосіб «на плаву». Така технологія, коли вся колона підтримується за рахунок підпору розчину, дозволяє опускати колони вагою, що перевищує вантажопідйомність установки.

Відзначимо, що цілеспрямованої адаптації технології ерліфтового буріння для будівництва глибоких вертикальних шахтних стволів великого діаметру не вдалося отримати до сьогоднішнього дня. Гранично реалізована глибина ствола при максимально можливих діаметрах від 4 до 5 м залишається в межах 800-900 м. Найбільш поширені варіанти буріння стволів - діаметри 2,5-4,5 м при глибині до 500 м.

Кернове буріння. Буріння стволів по всьому перетину вибою може бути роторним або керновим. Роторне буріння, описане вище, застосовують в м'яких і нестійких породах з коефіцієнтом фортеці не більше 4, кернове - в більш міцних породах.

В необхідних випадках, коли твердість порід варіюється в великих межах, застосовується комбінований спосіб, тобто і з видачою керну, і з руйнуванням порід по всьому перетину забою.

Перші розробки по бурінню шахтних стволів в СРСР були зроблені ще в 1938 р. Уже тоді основоположною ідеєю кернового буріння була концепція енергозберігаючого способу руйнування тільки контуру забою з подальшою видачою керна [9].

Перша установка УКБ-3,6 інституту «ЦНДПідземмаш» отримувала керн діаметром 3,08 і висотою до 5 м в міцних породах з низькою питомою витратою енергії руйнування порід. Залишки кернів досі можна бачити на шахтних відвалах Донецька (рис. 11). Складне обертання доліт в поєднанні з малими абсолютними навантаженнями забезпечує менші, ніж при роторному способі, відхилення від вертикалі. Також конструктивно просто змінювався діаметр забійного агрегату, що дуже важливо для виконавців робіт. Завдяки хорошим техніко-економічними показниками і оригінальності технічних рішень установка УКБ-3,6 в 1958 році була удостоєна вищої нагороди на Всесвітній виставці в Брюсселі. На жаль, прогресивні і перспективні технічні рішення, покладені в основу способу, в подальшому не були реалізовані.

Проходка шахтних стволів з розбурювання передової свердловини.

Проходження стовбурів з випереджаючої свердловиною є комбінованим способом і поєднує в собі переваги бурової і традиційної технологій.

При проходженні стволів на існуючий горизонт передова свердловина вирішує низку проблем проходки:

- порода не видається на поверхню, а перепускається вниз - не потрібні потужні підйомні комплекси;
- забій ніколи не буває підтопленим;
- буровибухові роботи ведуться з наявної оголеною площиною;
- при необхідності вирішуються проблеми з вентиляцією.



Рис. 11. Керн, вибурений установкою УКБ-3,6

Ряд технологічних хитрувань, пов'язаних з необхідністю перекриття свердловини і її можливого пересипання не істотні. Такий спосіб застосовується на невеликих вертикальних ділянках стовбурів і щодо стійких породах. Буріння передової свердловини, як правило поетапне, діаметром до 1 м (їх може бути 2-3) проводиться шахтними буровими верстатами типу Стріла 77 (рис. 12) або БГА зверху чи знизу в залежності від геотехнологічних умов. Самі способи проходки і темпи аналогічні традиційним по кожній з перерахованих схем.

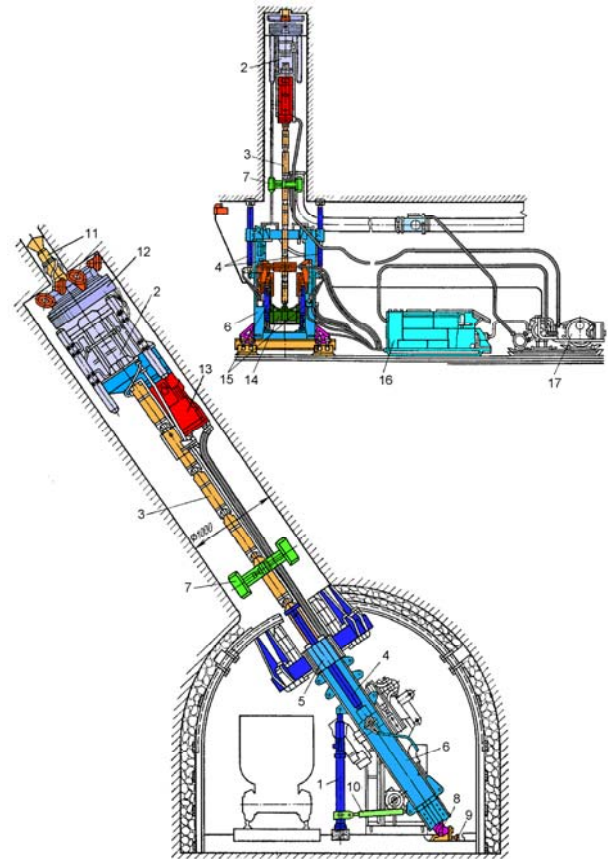


Рис. 12. Конструкція бурової установки «Стріла - 77»

Існує кілька запатентованих способів проходки з випереджаючої свердловиною при відсутності нижнього горизонту. Свердловина в цьому випадку служить напрямком для зручності відкачування води, прибирання породи, підвищення ефективності БВР. На практиці, за відомостями авторів, такий спосіб ніде не застосовувався.

Проходка шахтних стволів з висхідним розбурювання передової свердловини («Райз-Борінг») [1,4,5].

Повністю механізована проходка шахтних стволів середньої глибини з висхідним розбурювання передової свердловини передбачає наявність стійкого породного масиву і проходку гірничої виробки під місцем закладання шахтного стовбура. Кріплення шахтного ствола може бути встановлене тільки після буріння на всю глибину (рис. 13).

При наявності в шахті декількох горизонтів проходку передової свердловини здійснюють як з поверхні, так і з горизонтів.

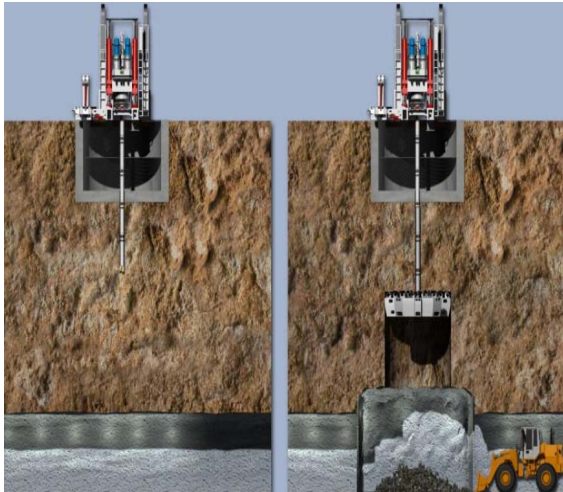


Рис. 13. Технологія Raise Boring, з використанням установки RBR для буріння підняттявих виробок

Це високопродуктивний і економічно доцільний метод, застосування якого обмежується діаметром ствола (реально до 6 м) і глибиною (максимально досягнута глибина - приблизно 1200 м). Глибина і діаметр шахтного ствола, що споруджується таким способом, залежить від гранично допустимого навантаження на бурову штангу. У всіх випадках, коли існують стабільні гірничо-геологічні умови, а діаметр ствола шахти порівняно невеликий, проходка з висхідним розбурювання передової свердловини може служити альтернативою буропідривної технології.

Діаметри передових свердловин варіюються від 300 до 3000 мм.

Спуск породи в передову свердловину, вимагає не тільки наявності високопродуктивних і мобільних засобів буріння, а й високотехнологічного облаштування підземних гірничих виробок для прийому породи, що спускається по свердловині. Через ці умови спосіб, в основному, застосовується при реконструкції гірничих підприємств.

Технологія буріння шахтних стволів з поверхні дозволяє повністю механізувати проходку, організувати безперервний процес відбійки і одночасного видалення породи. Всі механізми управляються з поверхні. При необхідності допускаються невеликі технологічні перерви. Технологія виявляє численні переваги в порівнянні з традиційною. В основному це:

- скорочення термінів оснащення і проходки;
 - значно менша потреба в робочій силі;
 - більш високий рівень безпеки, обумовлений зокрема, відсутністю необхідності в застосуванні вибухових речовин і знаходженням людей на поверхні.
- Для стволів, які проходяться способом буріння, специфічні умови кріплення:
- кріплення зводиться після закінчення буріння ствола кінцевим діаметром до проектної глибини;
 - кріплення зводиться з поверхні землі, при цьому ствол заповнений промивної рідиною;
 - після спуску кріплення необхідний тампонаж закріпного простору і відкачування зі ствола промивної рідини.

Особливо ефективна проходка бурінням в нестійких обводнених породах, де значно зростає вартість традиційної проходки через застосування заморожування або інших спеціальних способів. Проблема підтримання стінок ствола тут вирішується шляхом підбору відповідного бурового розчину, який утримує стінки ствола від обвалення, перешкоджаючи надходженню в ствол підземних вод.

У той же час, при «Райз-Борінг», стійкість навколишніх гірських порід є певним обмеженням застосування даної технології.

Дослідження показали, що застосування технології буріння дозволяє досягти швидкості проходки ствола понад 4 м/добу, при підвищеній надійності і економічності.

Окремим питанням переваги стволів, пройдених бурінням, є їх застосування, як елементу схеми розкרוю шахтних полів.

У зв'язку з віддаленням гірничих робіт від діючих стволів і розкриттям нових виїмкових полів можливі різні рішення, пов'язані з фланговими стволами і свердловинами.

Такі стволи невеликого діаметра можна використовувати для подачі свіжого струменя повітря при глибині розробки 1000 м і більше.

При цьому вони замінюють довгі горизонтальні підземні виробки, які внаслідок розташування на верхньому горизонті можуть постійно піддаватися доопрацюванню. Тим самим знижується

ризик, пов'язаний з тривалим підтриманням вентиляційних виробок достатньої площі поперечного перерізу на подібних ділянках надходження струменя свіжого повітря. В результаті можна поліпшити кліматичні умови на очисних ділянках з економічним ефектом, який звідси випливає.

Стосовно умов ШУ «Покровське», спорудження нових флангових стволів традиційними технологіями на діючих блоках в майбутньому ще більш ускладниться через високий обсяг попередніх витрат, тривалого періоду нульового циклу і впливу на навколишнє середовище (використання земельних ділянок великої площі - від 100 до 300 га).

Проблема може бути вирішена, якщо проходити флангові стволи бурінням, що за певних умов має ряд переваг:

- дуже невеликі земельні ділянки (до 1 га) і відповідне зменшення шкідливого впливу на навколишнє середовище;

- надходження охолодженого повітря безпосередньо до очисних вибоїв, що сприяє підвищенню продуктивності праці при одночасному поліпшенні його умов, а також полегшення аварійного виходу.

Безштангове (комбайнове) буріння стволів [1, 4, 9, 10].

Принципова відмінність даного способу від буріння з поверхні полягає в знаходженні стволопрохідницьких механізмів безпосередньо в стволі, бурінні на повний переріз ствола заходками з повним прохідницьким циклом, наявним доступом до забою. В принципі, це паралельна схема проходки, але головна відмінність даного способу від традиційних технологій - спосіб руйнування порід, тобто БПР замінені роботою породоруйнуючих інструментів. Така проходка бурінням не вимагає наявності під центром ствола вже пройденої виробки, тому спосіб може застосовуватися при будівництві нових шахт.

Удосконалення комбайнової технології проходки і спорудження стволів способом буріння у вибої ствола є одним з важливих сучасних напрямків в розвитку технології будівництва вертикальних стволів.

Сьогодні будівництво шахт глибиною 1500 - 2000 м стало цілком звичайним явищем. Ця вимога диктується сучасною тенденцією розвитку гірничої промисловості

з постійним збільшенням глибини видобутку корисних копалин. Всі нові розробки стволобурильних машин вирішують задачу бурової проходки суцільним забоєм стволів діаметром від 5 до 11 м і глибиною близько 3 000 м і розробляються з використанням вузлів і агрегатів апробованих машин і систем тунельних бурових комбайнів. Буровий руйнуючий інструмент може бути суцільної (на весь діаметр ствола) або вибіркової дії.

Застосування стволопрохідницьких комбайнів з механічним руйнуванням гірських порід дозволяє:

- механізувати, автоматизувати і поєднати в часі основні трудомісткі операції - руйнування забою, прибирання породи, кріплення ствола;

- усунути важку фізичну працю і підвищити продуктивність праці прохідників;

- поліпшити санітарно-гігієнічні умови роботи і підвищити рівень безпеки праці;

- паралельно з удосконаленням конструкції комбайнів збільшувати темпи проходки стволів в порівнянні з буропідривною технологією.

На жаль, вітчизняний досвід комбайнової проходки невеликий. А з 90-х років минулого століття, з часу економічної кризи, комбайнова технологія проходки стволів на пострадянському просторі стала незатребуваною через її високу вартість і необхідність доопрацювання комбайнів для безаварійної роботи.

Проте, нижченаведений досвід безсумнівно повинен бути вивчений і затребуваний, а саме, коротка інформація про використання стволопрохідницьких комбайнів в колишньому СРСР, в основному, в Україні.

Комбайнова проходка стволів у вітчизняній практиці застосовується з початку 1960-х років. Перші комбайни ПД-1 і ПД-2 мали дводисковий планетарний виконавчий орган з різцевим оснащенням і призначалися для проходки стволів глибиною до 1000 м в породах з міцністю до 6.

Із застосуванням комбайнів типу ПД на початку 1960-х років пройдено п'ять стволів загальною протяжністю 2600 м. Швидкість проходки досягала 177,5 м / міс готового ствола (шахта "Самсонівська-Західна"). Продуктивність праці прохідників

до 13,23 м³/зміну (шахта ім. 50-річчя Жовтневої революції).

Отриманий досвід проходки стволів комбайнами ПД дозволив створити комбайновий комплекс СК-1У. У комбайні СК-1у в порівнянні з ПД було збільшено граничне значення зусилля подачі на вибій з 800 до 1400 кН.

СК-1У. У 70-80-ті роки інститутом ЦНДПідземмаш були розроблені 2 схожі модифікації стволіпрохідницького комбайна: ПД-2 і СК-1у (рис. 14). Стволіпрохідницький комбайновий комплекс СК-1у був призначений для механізованого проходки стовбурів фіксованих діаметрів 7 і 7,5 м у просвіті глибиною до 1500 м при притоках води до 25 ... 30 м³/год.

Цими комбайнами було пройдено в Карагандинському вугільному басейні та Донбасі 8 стовбурів. При проходці клітьового стовбура №3 шахти ім. Калініна в Донецьку трестом «Донецькшахтопроходка» в березні 1979 р був досягнутий найвищий результат за темпами проходки для комбайнової технології - 160 м/міс і по продуктивності праці прохідника - 15 м³/зміну.

Технологія робіт СК-1У:

Руйнування порід - дводисковим планетарним ріжучим органом, на якому укріплені різці (при f до 6) або шарошки (при $f = 7$ і більше).

Прибирання породи - зруйнована порода в суміші з водою у вигляді пульпи засмоктується пневмоелеватором в бункер на комбайні, звідки перевантажується в скіпи і видається на поверхню.

Кріплення стін - монолітним бетоном за допомогою металевої опалубки зі спіральним піддоном і гідравлічним відривом стулок.

Висота комбайна - 14,5 м, вага - 196 т.

Можливі темпи - до 160 м / міс.

Застосування - 8 стовбурів в СРСР.

З наведених прикладів ясно, що прогресивне і нестандартне стволіпрохідницьке обладнання, відповідає сьгоднішнім запитам шахтобудівників, в т.ч. це:

- гнучкість при варіюванні діаметра шахтних стволів;

- незалежність від геологічних та гідрологічних умов;

- застосування різних способів кріплення ствола;

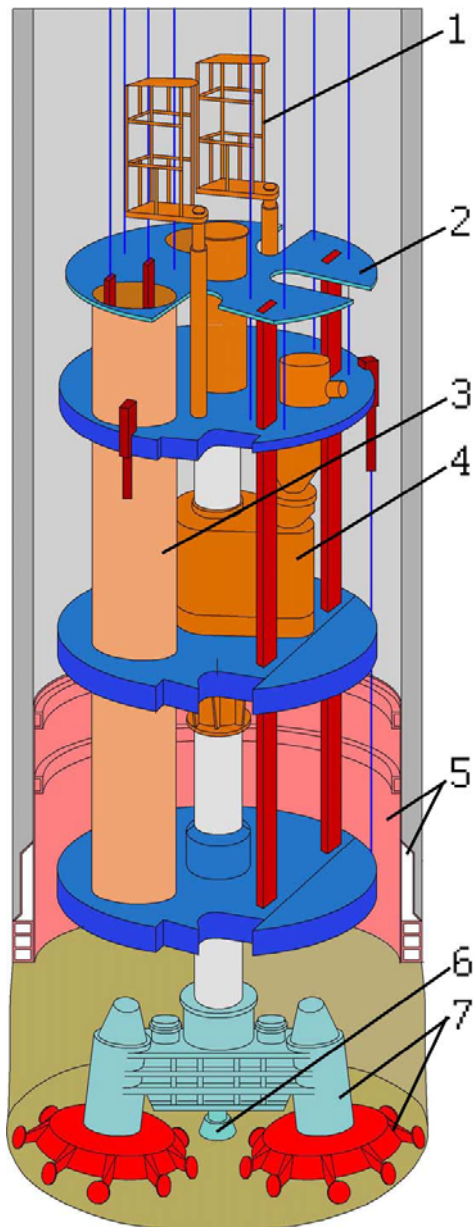


Рис. 14. Загальний вигляд стволіпрохідницького комбайна СК-1У:

1-телескопічні майданчики для нарощування трубопроводів; 2-триповерховий каркас (несуча основа); 3-бункер для породи; 4-привід виконавчого органу; 5-опалубка зі спіральним піддоном; 6-пневмоелеватор; 7-планетарний виконавчий орган, оснащений різцями або шарошками

- установка кріплення ствола одночасно з виїмкою породи в забої.

- дистанційне керування при експлуатації машини нижче горизонту ґрунтових вод.

- дотримання необхідної точності вимірювань інтегрованою вимірювальною системою.

- вбудована система гідротранспорту.

- гідро- (пневно) підйом бурового дрібного залишку одночасно з різанням.

- незалежне функціонування транспортних систем.

- зручність технічного обслуговування.

Саме тому, застосування комбайнової технології проходки вертикальних стволів на сучасному етапі доводить її переваги перед буропідривною, з точки зору темпів проходки і безпеки.

Однак застосування даної технології передбачає купівлю обладнання за кордоном або освоєння її виробництва на базі вітчизняного машинобудування, що на сьогодні нереально.

Таким чином, широке впровадження комбайнів в вітчизняну стволіпрохідницьку практику обмежене їхньою високою вартістю. Наприклад, вартість ствольного комбайна на калійному руднику «Славкалій» склала € 200 млн., що можна порівняти з вартістю будівництва великого вугільного блоку. Тому економічна сторона питання (покупка або оренда), з огляду на малі обсяги споруджуваних в Україні стволів і малу вірогідність багаторазового застосування таких комбайнів, потребує опрацювання.

І ще один важливий аспект. Робота на таких машинах потребують докорінного перенавчання як прохідників і ІТП, так і проектувальників, і конструкторів.

Наведені способи і методи проходки вертикальних стволів нерозривно пов'язані з їх кріпленням. Саме тому в аналізі технологій проходки доречно коротка характеристика умов спорудження та експлуатації ствольних кріпильно-завершального елемента ствола, як конструкції і системи.

Кріплення вертикальних стволів [1, 3, 5, 10].

Умови роботи кріплення вертикальних стволів нерозривно пов'язані не тільки з вміщуючими породами, а й способами проходки. Завдання кріплення ствола - це огороження масиву вміщуючих порід, опір навантаженням від гірського тиску, водонепроникність. Технологія спорудження ствола значно впливає на стан масиву.

Так, контур закріпного простору і його несуча характеристика визначаються характером вивалоутворення при оголенні вибою тим чи іншим способом.

Наприклад, буропідривний спосіб створює навколо ствола систему тріщин, утворює вивалами вкрай нерівномірний контур і, відповідно, асиметричні навантаження. Механізована проходка, роблячи стіни рівними, створює проблему ковзання кріплення уздовж породних стін. Кріплення стін стовбура за суміщеною схемою безпосередньо у вибої зменшує ймовірність вивалів, але створює несприятливі умови тверднення бетону в ще нерозвантаженому масиві. Напружено-деформований конструктив кріплення, у взаємодії з масивом, повинен враховувати всі ці особливості і поряд з характеристиками міцності і піддатливими властивостями бути досить герметичним. Повний опис всіх проблем не входить в завдання даного огляду. Проте, коротко їх охарактеризуємо.

Один з головних і найбільш дискусійних питань в оцінці системи «кріплення-масив» - питання інтегрованої оцінки міцності пересічних порід. Тут, на погляд авторів, застосування закону Парето, який передбачає вирішальний вплив шарів малої потужності, вельми перспективно. Неоднорідність товщі визначає зміну паспорта БПР або коригування конструкції руйнівного інструменту. А в світлі оцінки кріплення, викликає неоднорідність напружин і провокує процес різночасного деформування порід в умовах непередбачуваного характеру контакту шарів. Різноманітні форми залягання і «поведінки» вміщуючих порушених і не порушених порід породжують головного ворога всіх кріплень - асиметрію навантажень (рис. 15), максимальні значення коефіцієнта якої досягають 1,4. Зниження асиметрії є базовим принципом конструювання кріплень і, знову ж таки, технологій впливу на масив.

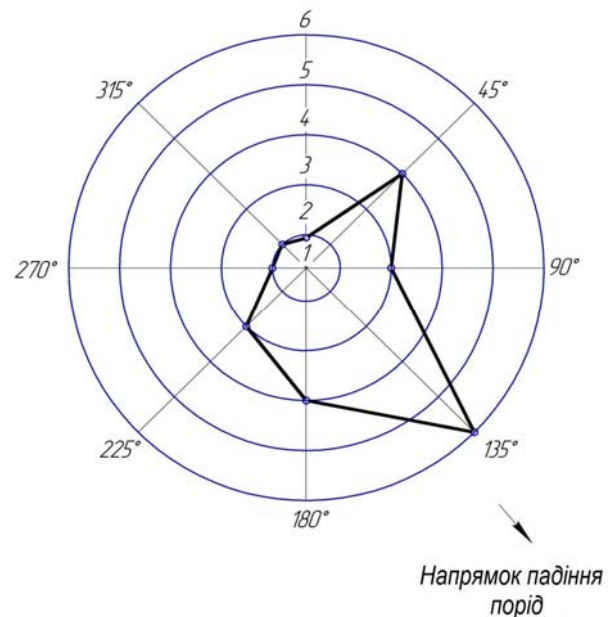


Рис. 15. Тренд асиметрії навантажень на кріплення ствола в ув'язці з напрямком падіння порід

Наведені короткі характеристики роботи системи «кріплення-масив» обґрунтовують подальші міркування про конструкцію кріплення і її взаємозв'язку з технологією спорудження стволів, таблиця 1.

Найбільш поширеним видом кріплення є бетонне (залізобетонне) кріплення, як найбільш технологічне при всіх способах проходки. Привибійна зона ствола являє собою просторовий об'єкт, в якому з масивом взаємодіє товстостінна бетонна оболонка змінного опору і фізико-механічні властивості якої визначаються видом і швидкістю твердіння бетону, а також темпами проходки ствола. Час схоплювання бетону до набору несучої міцності регулюється перспективним застосуванням модифікованих бетонів на основі сучасних комплексних добавок.

Наприклад, застосування модифікованого фібробетону дозволяє збільшити несучу здатність тверднучого кріплення в привибійній зоні в 1,5 - 2 рази.

Конструкції інших вид кріплення (тубінги, металева обичайка і ін.) Зазнають в контакт з масивом ті ж навантаження, сприймаючи їх при цьому відразу, без фази набору міцності. Також такі конструкції забезпечують герметичність контуру, гарантуючи відразу водонепроникність укріпленого стовбура.

В цілому, вибір типу кріплення ствола залежить від:

- гідрогеологічних і геологічних умов;
- впливу очисних робіт;
- функціонального призначення ствола;

ла;

- терміну служби ствола.

З точки зору способів зведення кріплень, технології мало відрізняються при комбайновому і буропідривному способах.

Але в будь-якому випадку, особливі ствольні умови зумовлюють ряд додаткових вимог до кріплення:

- необхідність сприймати додаткові навантаження, що виникають в момент зведення (монтажні навантаження);

- можливість механізації робіт з її зведення.

Нагадаємо, що якщо в стійких породах тип кріплення може бути жорстким, то в умовах можливих зрушень кріплення повинне мати піддатливість, яка досягається багат шаровістю, або складатися з невеликих елементів (наприклад, тубінги), яким притаманна відносна рухливість, заповнений бітумом або асфальтом закріпний простір, виконує роль компенсатора зсувів і водонепроникного контуру. Шар асфальту також рівномірно розподіляє навантаження на внутрішній циліндр кріплення, рис. 16.

Таблиця 1 - Оцінка конструкцій кріплення шахтних стволів

Система кріплення	Коротка характеристика робіт	Переваги - недоліки
Фіброармований набризкбетон	Механізоване нанесення набризкбетону	Високий робочий опір гірському тиску при порівняно малій товщині кріплення. Відскік при набризку сухої суміші (підвищена витрата). Покращена логістика при доставці сухої суміші замість розчинів

Продовження таблиці 1

Монолітний бетон (залізобетон)	Укладка бетонної суміші в ковзаючу опалубку у вибої або на висоті від вибою 20-30 м	Висока продуктивність робіт при використанні бетонопроводів. Гладкі стіни стовбура (низький аеродинамічний опір). Сприятливі умови для армування ствола. Підвищена трудомісткість робіт через попередній монтаж армокаркасів. Можливі деформації під впливом очисних робіт
Збірні бетонні (залізобетонні, металеві) елементи	Монтаж сегментів кріплення в привибійному просторі	Підвищена якість кріплення. Можливість секційного кріплення з метою зменшення оголення вибою. Завчасне виготовлення збірних елементів в заводських умовах.
Сталеві кільця. Сегменти із сталевих листів	Збірні и зварені сегменти кріплення із сталевих листів	Підвищена герметичність кріплення. Можливість зведення додаткових шарів кріплення. Висока вартість і трудомісткість. Необхідність антикорозійних заходів.
Багат шарові кріплення	Поетапне зведення шарів кріплення різної конструкції	Висока герметичність. Піддатливість кріплення. Велика трудомісткість робіт.

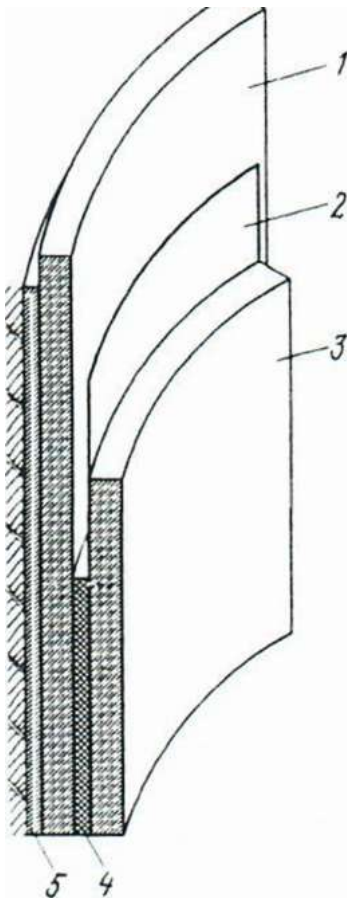


Рис. 16. Конструкція багат шарового кріплення стовбура:

1-передове кріплення; 2-оболонка із сталевого листа; 3-армований бетон; 4-асфальтний шар; 5-бетон в закріпному просторі

Цікавий досвід Китаю в спорудженні стволів діаметром до 9 м, коли в залежності від змін геологічного розрізу, змінюється тип кріплення і спосіб проходки [1, 2, 5].

На першому етапі ствол буриться до глибини 250-350 м, де породи мають невелику міцність при припливах до 300 м³/год. Буріння дозволяє уникнути спеціальних способів проходки. В процесі буріння роль тимчасового кріплення виконує бурова рідина.

У період буріння ствол оснащується для буропідривного способу проходки. Пробурена частина ствола кріпиться способом, що поєднує в собі технології бетонування, секційного кріплення, завчасного виготовлення кріплення і водопридушення. Сутність такого способу, що об'єднує різні технології спорудження вертикальних стволів, полягає в наступному.

Паралельно з бурінням на будівельному майданчику налаштовується виробництво залізобетонних кілець діаметром 6-8 м в світлі з товщиною кріплення 400-500 мм і висотою до 4 м.

У торцях кілець є металеві закладні пояса.

Якість досягається за рахунок технології бетонування, пропарювання і суворого контролю.

Потім на розсувних платформах встановлюється днище, на якому зводиться кілька ланок кріплення. Днище підвозиться до ствола і за допомогою лебідок опускається в гирло ствола до тих пір, поки почне плавати. Відчіплюються підйомні канати і всередині кільцевої колони монтується полок. На платформі збирається і нарощується наступна ланка, вона підвозиться до ствола і з'єднується зварюванням з кріпленням, опущеним в ствол. У міру нарощування ланок, кріплення поступово занурюється. Регулювання опуском зануреного кріплення виконується шляхом закачування в колону баластної рідини - води або промивного розчину. Кріплення нарощується до тих пір, поки днище опуститься на вибій ствола. Після цього тампонується закріпний простір і зі ствола відкачується баластна рідина. (Рис. 17).

Головна перевага такого способу полягає в тому, що кріплення опускається однією герметичній колоною. У стволі немає неізольованих стиків між окремими ланками кріплення.

Потік води в ствол виключається, і практично не потрібно додаткових робіт з гідроізоляції.

Ризиками цього способу є:

- високі монтажні навантаження;
- необхідний значний (до 200 мм) зазор між кріпленням і породними стінками стовбура, що вимагає великої витрати цементу на тампонаж закріпного простору;
- високі вимоги до вертикальності ствола.

Підводячи підсумки розділу по кріпленню, можна з упевненістю стверджувати:

- кожен ствол є унікальною спорудою, і частка типових рішень при виборі техніки і технології його спорудження повинна бути зведена до мінімуму;

- успішна організація будівництва можлива при постановці його на наукову основу.

Поліпшення надійності і довговічності об'єктів, що зводяться, досягається, в першу чергу, за рахунок розробки та впровадження нових типів ресурсозберігаючих технологій і кріплень, врахуванні при проектуванні особливостей гірського масиву.

Це дозволяє і визначає:

- індивідуальний підхід до будівництва кожного ствола;
- використання тимчасової техніки, що швидко монтується і демонтується для оснащення ствола до проходки;

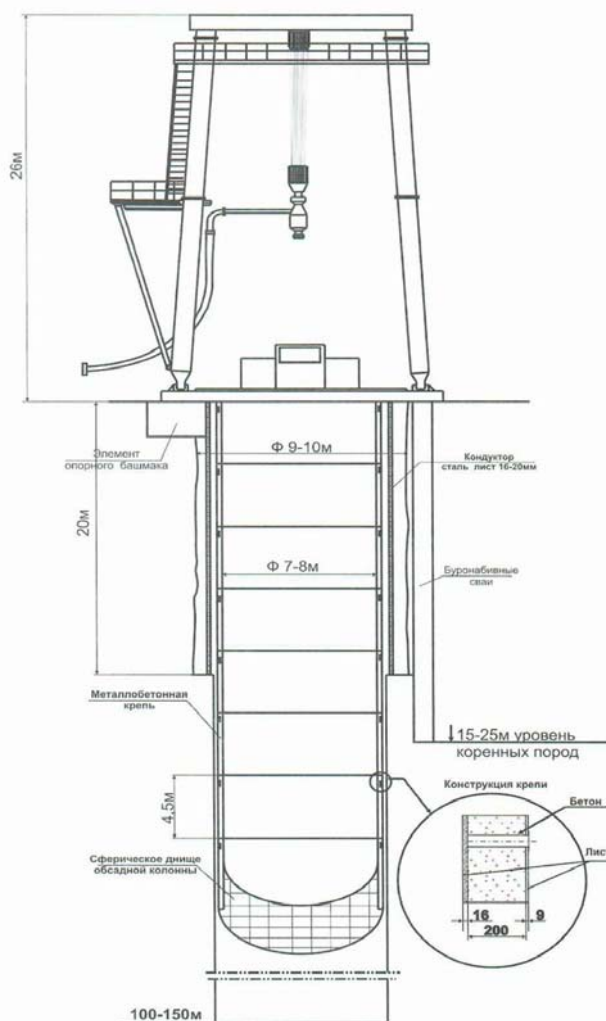


Рис. 17. Спуск сталебетонного кріплення на плаву

- паралельне ведення робіт з проходки і оснащення до подальшої експлуатації;
- високий ступінь організації, що дозволяє мінімізувати втрати часу від простоїв;

- широке використання набризкбетону і анкерів в якості тимчасового і згодом, в якості складової частини постійного кріплення;

- висока ступінь механізації проходницьких робіт на всіх етапах будівництва;

- широке використання техніки при механізованій проходці стволів

Обговорення результатів.

Американська приказка говорить: «Про що б не говорили люди, вони говорять про гроші». Тобто оцінка способів проходки повинна включати в себе економічну складову. Навести точну вартість одного метра проходки при застосуванні різних способів неможливо. Тому подальші міркування позначають лише тренд оцінки вартісних параметрів різних способів проходки.

Точний вартісний розрахунок робиться з урахуванням:

- геологічного розрізу;
- загальної глибини і перетину ствола;
- необхідності застосування спеціальних способів;
- обраної технології спорудження ствола;
- типу і конструкції кріплення;
- початкових витрат на придбання обладнання і вартості його утримання та обслуговування з урахуванням темпів проходки;
- очікуваної аварійності;
- логістики доставки і вартості мобілізації проходницького підприємства до місця робіт;
- умов проживання персоналу;
- кліматичних умов і багато чого іншого.

Вартість проходження вже оснащеного ствола на сьогоднішній день в Україні коливається від \$ 8 до \$ 20 тис. за 1 м. Однак все вартісні параметри суто індивідуальні і повинні обраховуватися на стадії проектування. Так, вартість стволопроходницького комбайнового комплексу (від \$ 200 млн.) може перевищити вартість всього ствола, а вартість оснащення ствола по суміщеною схемою орієнтовно складе не більше \$ 15 млн.

По фактору трудомісткості механізована проходка в два рази

економічніше буропідривного способу, а за витратами на утримання вона в рази дорожче.

Швидкість проходки, як фактор здешевлення, повинна розглядатися не на стадії безпосередньої проходки, а за інтегрованим показником - комерційною швидкістю, яка враховує загальний час спорудження ствола з обладнанням, проходженням сполучень і армуванням. І тоді гучні показники окремих швидкісних проходок від 100 м/міс при суміщеній схемі і до 200 м при паралельній можуть впасти до 15 м в місяць комерційної швидкості спорудження.

Для справжнього аналізу фактичної вартості спорудження стволів ми не володіємо достатньою базою. По-перше, в Україні проходиться мало стволів, по-друге, зарубіжні джерела замовчують ці показники. Однак, з огляду на вартість робочої сили за кордоном, там вона мінімум в три рази вище, можна сказати, що спорудження стволів - справа довга і дорога.

Висновки.

Одним із шляхів до глухого кута у вітчизняній вугільній промисловості з'явилася відмова від спорудження вертикальних стволів, головних виробок в питаннях безпеки і видобутку. Крім того, в нашому суспільстві ще не склалася думка, що освоєння підземного простору пов'язано не тільки з шахтами. Вуглевидобуток, поряд з альтернативною енергетикою, не єдиний користувач вертикальних стволів. При цьому, економіка передових країн націлена на експлуатацію вже побудованих стволів і потребує нових. У світі щорічно вводиться в експлуатацію до 20 кілометрів стволів. Як приклад, тенденція виведення шахтарів з-під землі дає альтернативу вугільного видобутку - підземну газифікацію. А це, знову ж таки, велике число стволів і свердловин.

Будівництво вертикальних стволів є специфічною і однією з головних складових шахтного і підземного будівництва. Очікувана тенденція зростання обсягів проходки в ближньому і далекому зарубіжжі змушує вітчизняних шахтопрохідників вивчати і впроваджувати прогресивні методи спорудження вертикальних стволів. У всьому світі апробовані схеми проходки за допомогою БПР, поступаються місцем

механізованим стволопрохідницьким комплексам. Така модернізація, яка зачіпає поверхневе і підземне будівництво, різко поліпшує умови праці і підвищує якість робіт, що знижує трудомісткість, яка передбачає залучення і навчання нових молодих робітників, для яких престижність праці не на останньому місці, і інші чинники, обумовлені вимогами гірничопромислових компаній - світових лідерів гірничодобувної галузі.

Є відкриті дані про сьогоденню питому вагу різних способів проходки в загальному обсязі прохідних стволів. Якщо ці дані і потребують перевірки, то зазначений тренд застосування того чи іншого способу безсумнівний. Буропідришний спосіб залишається переважаючою технологією тільки в Україні. У світі найбільше поширення отримують механічні технології: штангові буріння на весь переріз (ерліфт), висхідне буріння («Райз-Борінг»), проходка по випереджуючій свердловині і проходка потужними стволопрохідницькими комбайнами.

Перспектива і роль буропідривних технологій, які ще не вичерпали себе і можуть удосконалюватися за рахунок оптимізації і модернізації схем проходки, поверхневого комплексу оснащення, стволового і вибійного обладнання.

Таким чином, з урахуванням реалій сьогодення, досвіду минулих років, тренда розвитку світової економіки та безсумнівної перспективи освоєння підземного простору:

- основні питання життєдіяльності великого гірничого підприємства безальтернативно вирішуються шляхом своєчасного спорудження вертикальних стволів;

- спорудження нових і підтримання існуючих стволів забезпечить диверсифікацію нині збиткових вугільних підприємств на довгі роки;

- нові, перш за все, механізовані, технології проходки вертикальних виробок повинні, в першу чергу, забезпечувати підвищення ефективності капітальних вкладень, дотримання економічно доцільних термінів будівництва при підвищених експлуатаційних властивостях стволів.

Без впровадження нових технологій спорудження стволів на основі вітчизняних і

зарубіжних розробок, модернізації існуючого обладнання, придбання нового, в т.ч. на лізинговій основі, прогрес в шахтному будівництві неможливий.

Список літератури

1. Frangakis, T.J. (2018). A review of lashing methods used in shaft sinking. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 118(3), pp. 297-308. <https://dx.doi.org/10.17159/24119717/2018/v118n3a12>
2. Deilmann-Haniel Mining Systems. (2014). Grab systems technical data. <http://www.dhms.com/en/products/shaft-hoisting-shaft-sinking-equipm/grab-systems-dh-dg.html> [accessed 12 April 2017]
3. Engineering News. (1999). World's deepest single-lift shaft project. <http://www.engineeringnews.co.za/article/worldx2019s-deepest-singlelift-shaft-project-1999-11-26> [accessed 16 February 2018]
4. Herrenknecht Technology. (2016). Mining - Safe and fast development of underground mines. Product brochure 2382. <https://www.herrenknecht.com/en/applications/mining.html> [accessed 4 October 2017].
5. Kratz, T., and Martens, P.N. (2015). Optimization of mucking and hoisting operation in conventional shaft sinking. *Mining Report*, vol. 151, no 1. pp. 38-47.
6. Булат А.Ф. (2006). Перспективы создания энергетических комплексов на базе угледобывающих предприятий / А.Ф. Булат, И.Ф. Чемерис // Уголь Украины., №2. С. 3-6.
7. Амоша А.И. (2013). От промышленного предприятия к промышленному парку: смена парадигмы на примере шу "Покровское" / А.И. Амоша, О.Д. Кожушок, В.В. Радченко, Е.Н. Халимендинов, Д.Ю. Череватский, Е.А. Юшков // Экономика промисловості. № 1-2. С. 13-17.
8. Ильяшов М А. (2015). Трехмерные индустриальные парки: определение, особенности и направления развития / М А. Ильяшов, В.В. Левит, Д.Ю. Череватский // Экономика промисловості. № 1(69). С. 74-83.
9. Левит В. В. (2008). Сооружение стволов бурением: учеб. пособие / В. В. Левит, В. И. Пилипец. - Донецк: Норд-Пресс., - 286 с.
10. Манец, И.Г. (2010). Техническое обслуживание и ремонт шахтных стволов: [в 2 т.] / И. Г. Манец, Б. А. Грядущий, В. В. Левит ; под общ. ред. д-ра техн. наук С. А. Сторчака ; НИИ горной механики им. М. М. Федорова, Донец. нац. техн. ун-т. - 4-е изд., перераб. и доп. - Донецк : Юго-Восток,.

References

1. Frangakis, T.J. (2018). A review of lashing methods used in shaft sinking. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 118(3), pp. 297-308. <https://dx.doi.org/10.17159/24119717/2018/v118n3a12>
2. Deilmann-Haniel Mining Systems. (2014). Grab systems technical data. <http://www.dhms.com/en/products/shaft-hoisting-shaft-sinking-equipm/grab-systems-dh-dg.html> [accessed 12 April 2017]
3. Engineering News. (1999). World's deepest single-lift shaft project. <http://www.engineeringnews.co.za/article/worldx2019s-deepest-singlelift-shaft-project-1999-11-26> [accessed 16 February 2018]
4. Kratz, T., and Martens, P.N. (2015). Optimization of mucking and hoisting operation in conventional shaft sinking. *Mining Report*, vol. 151, no 1. pp. 38-47.
5. Herrenknecht Technology. (2016). Mining - Safe and fast development of underground mines. Product brochure 2382. <https://www.herrenknecht.com/en/applications/mining.html> [accessed 4 October 2017].
6. Bulat A.F. (2006). Perspektivy sozdaniia energeticheskikh kompleksov na baze ugledobyvayuschih predpriyatiy / A.F. Bulat, I.F. Chemeris // Ugol Ukrainy. №2. S.3-6.
7. Amosha A.Y. (2013). Ot promyshlennoho predpriyatiya k promyshlennomu parku: smena paradyhmy na prymere ShU Pokrovskoe / A.Y. Amosha O.D. Kozhushok B.V. Radchenko E.N. Khalymendykov D.Yu. Cherevatskiy, E.A. Yushkov // Ekonomika promyslovosti. № 1-2. С. 13-17.
8. Yliashov M A. (2015). Triokhmernye industrialnyie parki: opredeleniie, osobennosti i napravleniia razvitiia/ M A. Yliashov, V.V. Levyt, D.Yu. Cherevatskiy // Ekonomika promyslovosti. № 1(69). С. 74-83.
9. Levyt B. B. (2008). Sooruzhenye stvolov burenyem: ucheb. posobyie / V. V. Levyt, V. I. Pylypets. - Donetsk: Nord-Press. - 286 с.
10. Manets, Y.H. (2010). Tekhniches-koie obsluzhyvanye i remont shakhtnykh stvolov: [v 2 t.] / Y. H. Manets V. A. Hriadushchyi, V. V. Levyt; pod obshch. red. d-ra tekhn. nauk S. A. Storchaka; NII hornoi mekhanyky im. M. M. Fjodorova, Donets. nats. tekhn. un-t. - 4-ie izd., pererab. i dop. - Donetsk: Yuho-Vostok.

Надійшла до редакції 20.12.2020

Левіт Віктор Володимирович – доктор технічних наук, професор, директор з капітального будівництва ПрАТ «Донецьксталь-МЗ» (пл. Шибанкова, 1, м. Покровськ, 85302, Україна).

E-mail: viktor.levit@donetsksteel.com.ua

Каменець В'ячеслав Ігорович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри «Геодезія та будівництво підземних споруд» Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, 85300, Україна).

E-mail: viacheslav.kamenets@donmtu.edu.ua

Мукомел Юрій Вікторович – начальник відділу моніторингу інвестиційних проектів ПрАТ «Донецьксталь-МЗ» (пл. Шибанкова, 1, м. Покровськ, 85302, Україна).

E-mail: yuriy.mukomel@donetsksteel.com.ua

**ABOUT EXPERIENCE AND PROSPECTS OF VERTICAL SHAFTS SINKING TECHNOLOGIES
APPLICATION IN UKRAINE**

Purpose. Analysis of production experience, scientific and technical developments and assessment of the prospects for the application and development of technologies for the construction of vertical shafts in Ukraine in the context of the need to restore the coal mining industry to preserve the energy independence of the state.

Methodology. The methods of analysis of the accumulated production experience of shaft sinking in Ukraine, in the post-Soviet space and in the leading mining countries, as well as scientific and technical literature were used.

Results. The classification of technologies and methods of vertical shaft sinking is considered and supplemented, technological schemes and equipment used and promising for Ukraine for the construction of shafts by conventional and special methods are analyzed, the production experience of the Donetskhakhtoprokhodka and Spetsshakhtobureniie trusts is generalized from the point of view of applicability in the construction of shafts of block No. 12 of PJSC Shakhtopravlenie Pokrovskoe". The possibility of using a modified parallel technological scheme of shaft sinking has been substantiated. The prospects of mechanized shaft sinking in Ukraine - by drilling and with the use of shaft-sinking machines - are assessed. The characteristics of the conditions for the construction and operation of shaft lining, the final element of the shaft, as a structure and functional complex are given. Variants of combined lining, including those with the use of fiber-reinforced concrete, are considered.

Scientific novelty. The results of the analysis of technological schemes and methods of vertical shafts sinking, accumulated production experience and scientific and technical developments are generalized, trends and prospects for the development of technologies are considered.

Practical value. The analysis of technological schemes and methods of sinking vertical shafts was carried out on the basis of domestic and foreign production experience.

Key words: vertical shaft, sinking technology, shaft sinking flow chart, drilling and blasting operations, shafts drilling, shaft-sinking machine.

Levit Viktor – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director for Capital Construction, PrJSC "Donetsksteel-MZ", (1, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85302 Ukraine).

E-mail: viktor.levit@donetsksteel.com.ua

Kamenets Viacheslav – Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of the Department of Geodesy and Construction of Underground Structures, State Higher Educational Institution "Donetsk National Technical University" (2, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85300 Ukraine).

E-mail: viacheslav.kamenets@donntu.edu.ua

Mukomel Yuriy – Head of the Investment Projects Monitoring Department, PrJSC "Donetsksteel-MZ " (1, Shybankova square, Pokrovsk, Donetsk region, 85302 Ukraine).

E-mail: yuriy.mukomel@donetsksteel.com.ua