

В.В. Левіт  
В.І. Каменець  
Ю.В. Мукомел

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ СПОРУДЖЕННЯ СТВОЛІВ ТА СВЕРДЛОВИН ДЛЯ ПОВОЄННОЇ РОЗБУДОВИ ВУГІЛЬНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

**Мета.** Аналіз виробничого досвіду, науково-технічних розробок і оцінка перспектив використання і розвитку новітніх технологій спорудження вертикальних шахтних стволів та свердловин для повоєнної розбудови вугільної галузі України.

**Методика.** Використано методи аналізу накопиченого виробничого досвіду проходки стволів та свердловин, перш за все, у провідних гірничодобувних країнах та в Україні, а також науково-технічної літератури.

**Результати.** Розглянуто класифікацію технологій і способів спорудження вертикальних стволів та свердловин, проаналізовані апробовані і перспективні для України, стосовно відновлення та створення гірничодобувних потужностей, технологічні схеми і устаткування для будівництва вертикальних розкривних виробок переважно з механічним руйнуванням порід у вибої, узагальнено виробничий досвід трестів Донецькшахтопроходка і Спецшахтобуріння з точки зору використання, зокрема, при будівництві нових вугільних блоків ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське», масштабних інвестиційних проєктів. Обґрунтовано можливість застосування модифікованої паралельної технологічної схеми для традиційної буропідривної технології. Оцінено перспективи механізованої проходки стволів в Україні - бурінням і з застосуванням стволопрохідницьких комбайнів провідних світових виробників. Ці можливості можуть бути реалізовані в разі прийняття та впровадження партнерами України сучасного аналогу «плану Маршалла» після перемоги над агресором.

**Наукова новизна.** Узагальнено результати аналізу технологічних схем і способів проходки вертикальних стволів та свердловин, накопиченого виробничого досвіду і науково технічних розробок, розглянуті тенденції і перспективи розвитку технологій шахтного будівництва – рушія розбудови національної гірничодобувної галузі.

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

**Ключові слова:** вертикальний ствол, свердловина, технологія проходки, механічне руйнування, безштангове буріння, стволопрохідницький комбайн, пілот-свердловина.

### Вступ.

Наразі спорудження вертикальних стволів та свердловин є вкрай необхідною та невідпинно зростаючою частиною світової видобувної галузі, яка покликана задовольняти потреби економіки та суспільства у мінеральній сировині, енергії, будівельних матеріалах та ін. Загальна тенденція збільшення обсягів гірничобудівельних робіт спостерігається в світі постійно, але галузь схильна до коливань внаслідок, наприклад, пандемії Covid-19, природних катаклізмів, збройних конфліктів тощо. Головним викликом та загрозою самому існуванню держави для України вже майже півтора року є повномасштабна агресія Російської Федерації.

Видобуток корисних копалин, відновлювальна енергетика, відродження промисловості, заснованої на нових стандартах – у тому числі, екологічних – це вкрай актуально для вугільних регіонів та нашої країни в цілому у поточний момент, а особливо в період повоєнної розбудови.

Існуюча та подальша потреба в інноваційних технологіях будівництва шахтних стволів і свердловин і необхідність модернізації апробованих методів саме цим і обумовлена.

Гірничобудівельні роботи, зокрема, спорудження вертикальних стволів та свердловин є основою створення потужностей з видобутку корисних копалин.

Шахтобудівники колишнього СРСР, головним чином, українські, мали технологічні досягнення, що й досі принципово відповідають сучасним світовим підходам. Але у 90-ті роки галузь знаходилася в занепаді, кошти на капітальне будівництво не виділялися. З початку двохтисячних років шахтне будівництво почало відроджуватися, проте не в достатніх масштабах.

Наразі в період воєнного стану спорудження стволів та свердловин не ведеться. Проєкт будівництва блоку №12 ШУ «Покровське», який передбачає проходку скіпового та повітроподавального

стволів глибиною 1400 м, призупинено. Але в період повоєнної розбудови вугільної галузі постає питання переходу до розкриття цих та інших запасів на великих глибинах, що змусить шукати і приймати нові нестандартні рішення з проходженням вертикальних стволів та свердловин різного призначення. Буде необхідним суттєве підвищення темпів проходки з покращенням техніко-економічних показників, а останнім часом посування вибоїв вертикальних стволів складало в середньому лише до 50 м на місяць.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Сьогодні галузь спорудження вертикальних стволів та свердловин є перспективною і динамічно розвивається, як і освоєння підземного простору для видобутку корисних копалин і інших цілей. У наявності тенденція зростання обсягів проходки в Європі і в усьому світі. Затребувані інноваційні проекти будівництва шахтних стовбурів, тому необхідно модернізувати апробовані способи спорудження і розробляти нові, що відповідатимуть вимогам інвесторів у період повоєнного відновлення та прискороного розвитку вітчизняної видобувної галузі.

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

Однак потрібно узагальнити наявні дані з огляду на сьогоденні реалії в нашій країні та потребу оновлення галузі на новому технічному рівні.

#### **Методи досліджень.**

Використовувалися методи аналізу накопиченого виробничого досвіду спорудження вертикальних стволів та свердловин в Україні і, головним чином, в провідних гірничодобувних країнах, а також сучасних світових тенденцій, які відображені у науково-технічній літературі, стосовно перспективи їх використання в Україні у повоєнний період.

#### **Результати дослідження та обговорення результатів.**

За існуючою класифікацією виділяють наступні способи проходки стволів:

- традиційний із застосуванням буропідричних робіт;
- спеціальні;
- механізований;
- проходка штанговим бурінням;
- проходка комбайновим способом (безштангове буріння).

Традиційну технологію розглянуто нами в роботі [12], тому зосередимося, головним чином, на механізованому способі, до того ж розбудовувати вугільну галузь після перемоги матимемо за новими високими стандартами.

У всьому світі апробовані схеми проходки із застосуванням буропідричних робіт поступаються місцем механізованим стволопрохідницьким комплексам та буровим агрегатам, дані наведені у таблиці.

Із скасуванням воєнного стану після перемоги одним з перших відновлених інвестиційних проєктів має стати будівництво блоку №12 шахтоуправління «Покровське». Для нього виконане і затверджене інвесторами техніко-економічне обґрунтування, у значній мірі розроблена проєктно-кошторисна документація, придбана земельна ділянка на території громади села Зелене Покровського району для розташування промислового майданчику будівництва, облаштована зона для зберігання матеріалів та обладнання, підведені необхідні інженерні комунікації та транспортні шляхи, створено внутрішньомайданчикові робочі геодезичні мережі, розпочато оснащення.

Надважливою складовою проєкту стане спорудження скіпового №4 та повітроподавального (клітьового) №4 стволів глибиною 1400 м кожний, діаметром у світлі 8 м та приствольного комплексу.

Схему розкриття блоку №12 наведено на рис. 1, перетини скіпового та повітроподавального стволів на рис. 2, характеристики стволів на рис. 3, компоновку комплексу виробок на рис. 4. Спорудження устя стволів буде здійснено із залученням опускного кріплення – ріжучого «ножа», способу, який добре опанований на спорудженні попередніх блоків, рис. 5, 6. В шахтоуправлінні «Покровське» наразі фінішує будівництво блоку №11,



Рис. 1. Схема розкриття блоку №12 ШУ «Покровське»

Таблиця 1. Розподіл технологій проходки в Україні та світі

№	Найменування способу		Питома вага способу, %																		
			Україна	Зарубіжжя																	
1	Буровибуховий спосіб	Україна	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		Зарубіжжя	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
2	Штангове буріння на весь перетин (ерліфт)	Україна	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		Зарубіжжя	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
3	Висхідне буріння («Райз Боринг»)	Україна	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		Зарубіжжя	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
4	Проходка по випереджуючій свердловині	Україна	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		Зарубіжжя	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
5	Проходка стволіпрохідницькими комплексами	Україна	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
		Зарубіжжя	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█



Рис. 2. Перетини скіпового та повітроподавального стволів блоку №12

в 2021 році стартували роботи на проммайданчику блоку №12, за умов воєнного стану вони заморожені.

В той момент було завершено етап попередньої підготовки майданчика – пробурені дві геологорозвідувальні

Найменування	Показатели
Функции стволов	ВПС №4 — подача свежего воздуха в шахту; — спуск-подъем людей, материалов и оборудования.
	СС №4 — выдача исходящей струи воздуха; — выдача горной массы скипами с приемом и передачей на ОФ "Свято-Варваринская".
Глубина стволов	ВПС №4 1360 м
	СС №4 1384 м
Диаметр стволов в свету	ВПС №4 8 м
	СС №4 8 м
Подъемные сосуды на период эксплуатации	ВПС №4 две независимые двухствольные клетки 2КНМ-5,2 с противовесами. Вес полезного груза до 20 т.
	СС №4 четыре скипа, грузоподъемностью каждый по 25 т (при проектировании уточнить расчетом).
Арматура стволов	ВПС №4 жесткая
	СС №4 жесткая

Рис. 3. Характеристика стволів блоку №12

свердловини, побудовано огорожу для зберігання матеріалів, проведено розвідувальний шурф, і для посилення його конструкції у верхній частині залите бетонне кільце.

Були розпочаті роботи по монтажу унікального опускного «ножа» (рис. 6), виготовленого на Свято-Іллінському машинобудівному заводі. Його вага становить 16,5 тон, діаметр – 9 метрів, а висота – 2,5 метра. За допомогою цього ножа в зоні пливунів мали бути пройдені перші 30 метрів стволів.

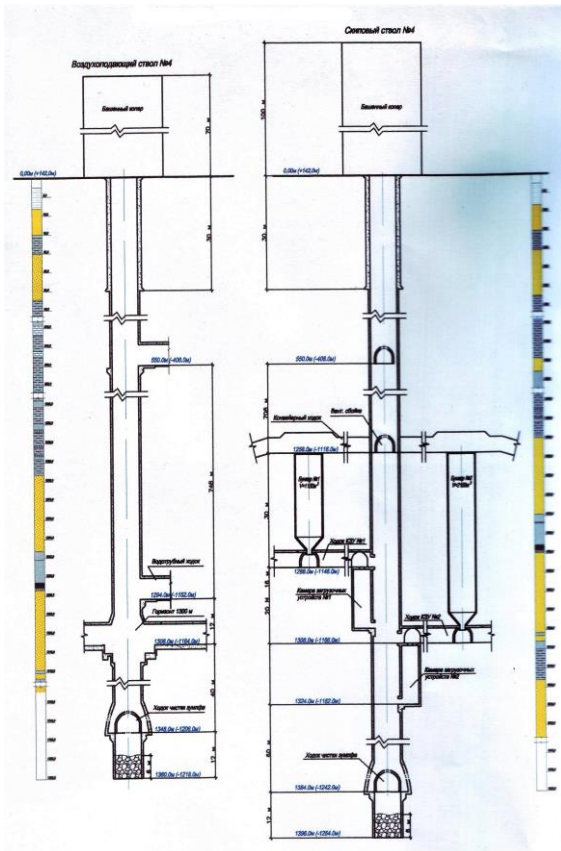


Рис. 4. Комплекс приствольних виробок блоку №12

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

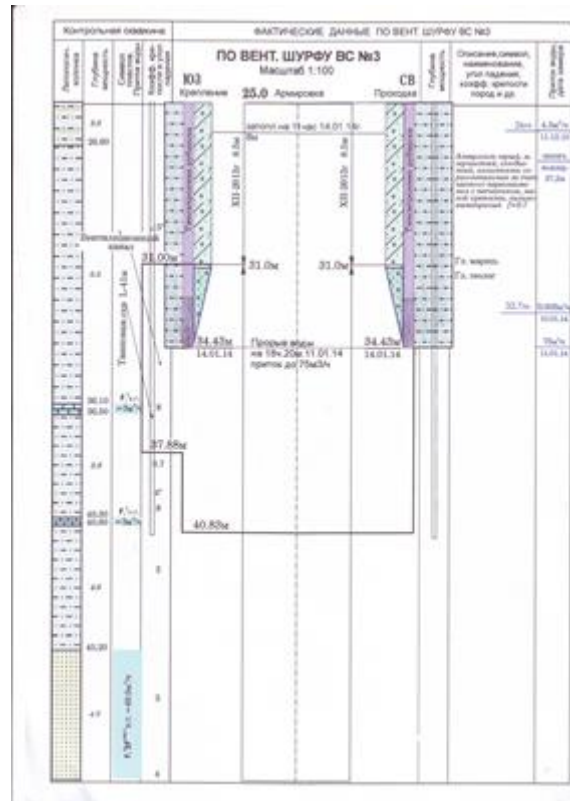


Рис. 5. Приклад застосування опускного кріплення на будівництві блоку №11



Рис. 6. Котлован оголовка та елементи опускного «ножа» на проммайданчику блоку №12 ШУ «Покровське», с. Зелене, 2021 рік

Протяжні частини стволів проектом було передбачено проходити за суміщеною технологічною схемою з використанням буропідричних робіт.

В той же час фахівцями ТОВ «Шахтобудівельна компанія» обговорюється можливість впровадження паралельної технологічної схеми проходки у варіанті з анкерно-сітчастим тимчасовим кріпленням стін ствола, що спрощує оснащення і надає додаткове посилення монолітного кріплення за рахунок «розвантаження» масиву (проміжок часу між підриванням шпурових зарядів та бетонуванням опалубки, тобто,

час оголення породних стін вибою, у порівнянні з суміщеною схемою більший щонайменше на 12 годин). Паралельна схема проходки передбачає меншу кількість обладнання на поверхні, але потребує складного багатоповерхового прохідницького полку.

Проте ж спосіб, навіть за умов часткової перепідготовки прохідників, є перспективним для наступних стволів ШУ «Покровське» та інших глибоких шахт.

Головною перевагою буропідривної технології є її адаптованість для різних гірничо-технологічних умов. Також є доступним для контролю вибій ствола, стабільність темпів і вартісних показників, компетентність прохідників та лінійного нагляду, і можливість кращого оснащення проходки за рахунок наявності на ринку достатньої продуктової лінійки прохідницького обладнання.

До недоліків можна віднести трудомістке і довге оснащення проходки, перебування людей у вибої, обов'язковий цілодобовий режим роботи, велика площа промайданчику (від 10 га), екологічні проблеми на суміжних територіях.

З досвіду останніх років цікавим є проходження стволів за сучасним різновидом паралельної схеми глибиною 2300 м і діаметром 9,0 м на підземному руднику німецькою фірмою Thyssen-Schachtbau GmbH. До 140 м стволи закріплені чавунними тубінгами, інша частина бетоном. Крім застосування 6-ти лафетних бурових установок, великовантажних грейферів і бадей (7 м<sup>3</sup>) (виробник OLKO Maschinentechnik GmbH), технологія проходки цікава "крокуючим" семиповерховим полком – серцевиною всього прохідницького процесу, рис. 7.

У стволах нижче рівня технологічного відходу застосовується тимчасове кріплення, що складається з комбінації анкерів, сітки і набризк-бетону, постійне кріплення зводиться з фібро-бетону товщиною від 40 до 60 см з полка практично незалежно від виконуваних у вибої робіт (паралельна схема). Ця обставина дає змогу значно прискорити прохідницькі роботи. Відстань від вибою ствола до точки зведення постійного кріплення становить 25-35 м.

Паралельно прохідницьким роботам стволи оснащуються армуванням на постійний період, щоб після закінчення

прохідницьких робіт забезпечити якнайшвидше введення стволів в експлуатацію.

Головна особливість застосовуваного полка полягає в тому, що цей полк не висить на канатах полкових лебідок, а є самонесучим і спирається на блоки-заходки бетонного кріплення висотою 4,5 м.

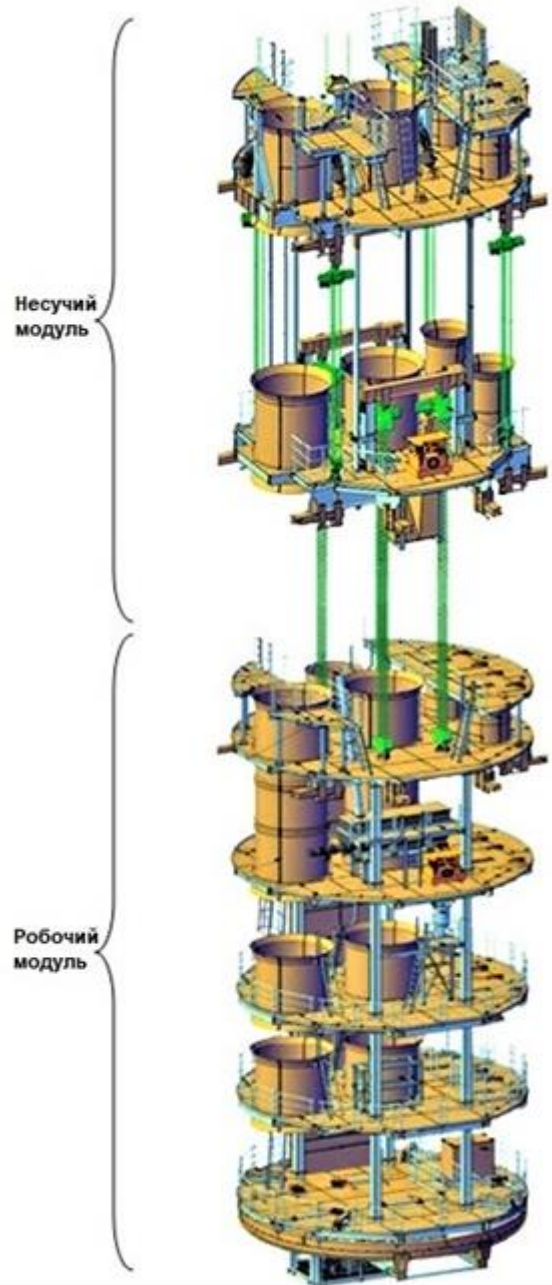


Рис. 7. Семиповерховий крокуючий полк Thyssen-Schachtbau GmbH

Прохідницький полк складається з двох модулів: несучий модуль, що містить 6-й і 7-й поверхи, і робочий модуль з 5 поверхів.

Обидва модулі можуть в інтервалі 40 м незалежно один від одного експлуатуватися і переміщатися. Прохідницький полок сконструйований таким чином, що переміщення його відбувається по стовбуру кроковим методом з опиранням на бетонне кріплення.

Для розроблення концепції «крокуючого полку» основне значення мали два чинники:

1. Загальна вага полку з навісним обладнанням перевищує граничну несучу здатність застосовуваних канатів.

2. Породний масив є досить високо навантаженим і показує високі величини деформації, що робить небажаним зведення постійного кріплення відразу після оголення масиву (у разі, якщо кріплення зводиться із вибою ствола безпосередньо відразу після оголення стінок під час прохідницьких робіт, то згідно з розрахунками, необхідне зведення кріплення завтовшки не менше ніж 1000 мм, що веде до підвищеної витрати бетону. Крім того, бетон протягом 24 годин після укладання до моменту повного набору міцності сприймає найбільші навантаження від породного масиву. Ця обставина призводить до виникнення мікротріщин у бетоні, та зниження міцності кріплення).

З цих причин було вирішено здійснювати кріплення стовбура спочатку тимчасовим піддатливим кріпленням і за рахунок допуску контрольованих конвергенцій розвантажувати породний масив, щоб на зведені постійні кріплення впливали тільки низькі навантаження. Цей підхід дає змогу скоротити товщину бетонного кріплення до 40 см, забезпечує можливість виконання основних операцій прохідницького циклу незалежно від глибини, а також паралельне виконання прохідницьких робіт, постійного кріплення й армування ствола.

Цей багатопверховий полок у частині схеми виконання робіт може зрівнятися з потужними механізованими прохідницькими щитами в тунелебудуванні. При цьому проходка йде у вертикальному напрямку, а після себе (над собою) він залишає повністю закріплений і оснащений ствол.

Постійне кріплення зводиться за допомогою переставної опалубки, яка забезпечує висоту заходки бетонування 4,2 м.

Система "крокового переміщення" вперше створює основу для застосування прохідницьких полків для споруджуваних стволів практично нескінченної глибини.

Але варто розглянути варіанти взагалі переходу на механічне руйнування вибою стволів та свердловин.

Способи механізованої проходки шахтних стволів та свердловин класифікуються за схемою, наведеною на рис. 8.



Рис. 8. Класифікація способів механізованої проходки шахтних стволів та свердловин

Технологія спорудження стволів та свердловин бурінням має вагому частку у загальному обсязі створення технологічно-логістичної схеми шахти, рис. 9.

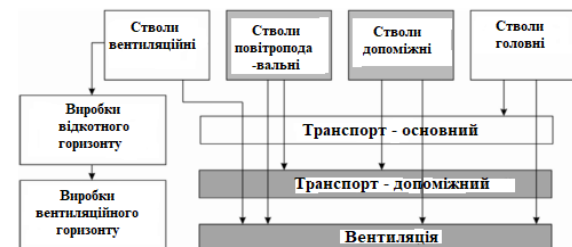


Рис. 9. Формування елементів технологічної схеми шахти (виділення кольором – стволи та свердловини, що споруджуються бурінням)

Ахіллесовою п'ятою технологій буріння є ризик їх викривлення в процесі спорудження (рис. 10), тому ця проблема

має постійно бути під контролем проєктувальників, технічного керівництва та лінійного персоналу виконавця робіт.

Виходячи з досвіду багаторічної роботи та досліджень холдингу (раніше тресту) «Спецшахтобуріння» визначено райони Українського Донбасу із сприятливими для буріння стволів та свердловин умовами, рис. 11.



Рис. 10. Причини викривлення стволів та свердловин



Рис. 11. Райони Донбасу із сприятливими для буріння стволів та свердловин умовами

Сучасні вимоги щодо значного підвищення швидкості і економічності проходки під час повоєнної відбудови видобувної галузі країни з одночасним підвищенням безпеки праці можуть реалізуватися тільки при докорінній зміні технології, тобто із переважним застосуванням механізованої проходки шахтних стволів та свердловин. Механізована проходка стволів часто є

успішною альтернативою спеціальним способам і містить буріння з поверхні або руйнування вибою ствола безпосередньо на поточній позначці вибою.

Розглянемо зарубіжний досвід спорудження вертикальних стволів комбайновим шахтним способом. За кордоном широко застосовувалися робочі органи і суцільної, і вибіркової дії.

На початку 2010-х років фахівці країн СНД розробили і виготовили дослідний зразок стволопрохідницького агрегату АСП-8, який потім ліг в основу конструкції комбайна СПКВ-7,0 (8,0) (рис. 12). Цей комбайн призначений для проходки стовбурів діаметром 7 (8) м у незводнених породах із коефіцієнтом міцності до  $f=12$ , а також у слабководнених породах із застосуванням спецзасобів із стабілізації водоприпливу. Експлуатація комбайна вимагає наявності над ним типового прохідницького полку. Сам стволопрохідницький агрегат не має підвіски на канатах, може працювати в автономному режимі, спираючись домкратами на вибій стовбура.

Технологія робіт АСП-8 така. Руйнування порід проводиться шнековою фрезою, посадженою на телескопічну штангу з рукояттю, рис. 13. Під час розроблення вибою заходками по 1,5 м незакріплена ділянка стовбура заввишки 7 м захищена від падіння породи, що відшарувалася, тимчасовим кріпленням у вигляді розпірної щитової оболонки.

Прибирання породи здійснюється у два етапи: навантаження породи грейферним навантажувачем у проміжний бункер-накопичувач із подальшим її перевантаженням і видачею на поверхню типовими баддєвими підйомами.

Кріплення стін - чавунними тубінгами безпосередньо з платформи агрегату за допомогою гідравлічного тубінгоукладача або монолітним бетоном за допомогою опалубки, розташованої над агрегатом.

У ХХІ столітті новими розробками в галузі спорудження вертикальних стволів комбайнами успішно займається відома компанія «Herrenknecht» (Німеччина), визнаний лідер у галузі створення та виробництва гірничопрохідницького обладнання.



Рис. 12. Заводські випробування агрегату АСП-8



Рис. 13. Виконавчий орган агрегату АСП-8

Компанією розроблено низку принципово різних (за виконавчим органом) комбайнів.

Механізований стволіпрохідницький комплекс SBR (рис. 14.) призначений для проходження вертикальних стволів глибиною до 2000 м і діаметром до 12 м у породах середньої міцності та обладнаний стріловим робочим органом вибіркої дії з інноваційною системою транспортування відбитої породи – пневмотранспортом, рис. 15. Відбита порода транспортується до перевантажувального вузла, розташованого на комплексі, звідки перевантажується в бадді і видається на поверхню. Високий рівень безпеки досягається за рахунок практично повної відсутності ручної праці у процесі проходки. Комплекс поєднує в собі новаторські технології, що дозволяють одночасно з проходкою проводити видачу гірничої маси та зведення кріплення. Заміна різального інструменту проводиться у спеціальній безпечній зоні.

Технологія робіт SBR:

1. Руйнування порід здійснюється спеціальною стрілою з барабанною фрезою, що обертається, рис. 15. Стріла є висувною і дозволяє здійснювати розробку вибою ствола по всьому поперечному перерізу пошарово по 200 мм і за 5 проходів забезпечити посування вибою на 1м протягом одного технологічного циклу.

2. Прибирання породи – розроблена порода видається із вибою ствола в бункер комбайна за допомогою пневматичної системи, з бункера вантажиться в бадді і видається на поверхню.

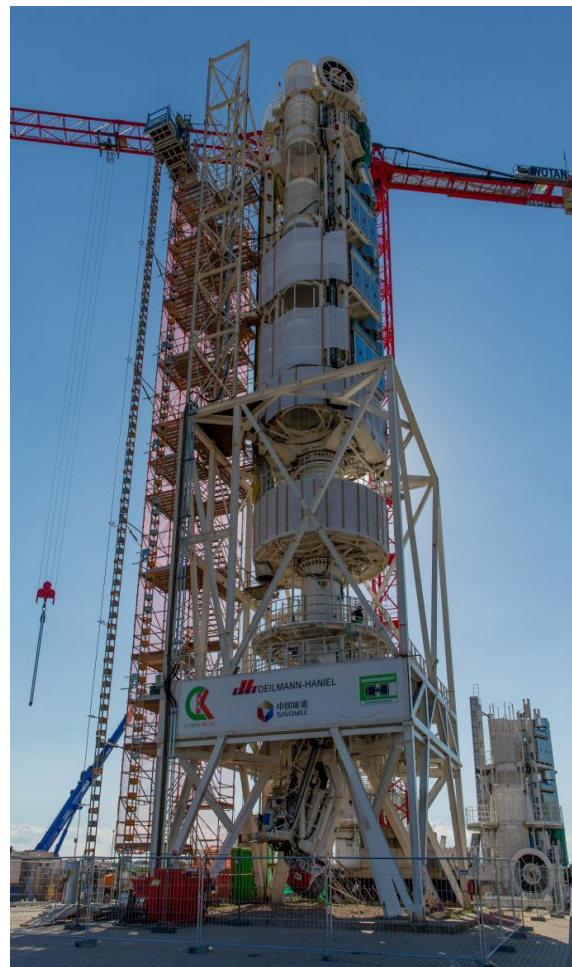


Рис. 14. Загальний вигляд комплексу SBR у зборі

3. Кріплення стін – здійснюється з робочих полків комбайна за допомогою торкретбетону (анкера, сітка та шар набризк-бетону).

4. Темпи (досягнуті) – 2-4 м/добу.

Застосування – 2 стволи глибиною 1000 м по заморожених породах для калійного рудника в провінції Саскачеван (Канада).

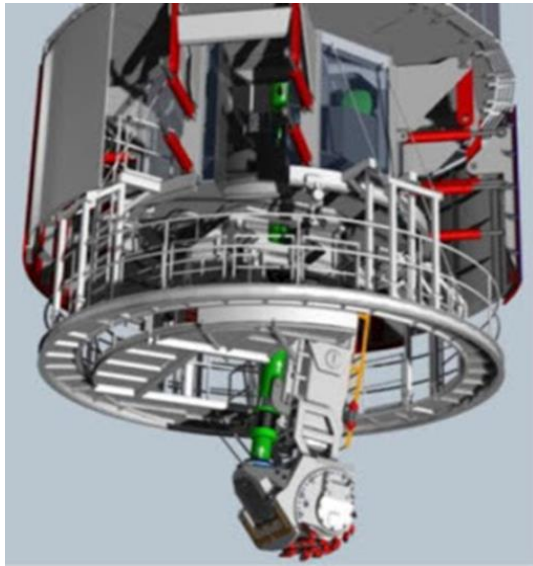


Рис. 15. Виконавчий орган комплексу SBR

Комбайн SBC призначений для спорудження стволів діаметром начорно 11,3 м у міцних породах (рис. 16)

Технологія робіт SBC:

1. Руйнування порід - буровим органом роторного типу з різцями чи дисками.

2. Прибирання породи – гідротранспорт.

3. Кріплення стін - з верхнього поверху буріння шпурів, встановлення анкерів, сітки, при необхідності - набризк-бетон.

4. Висота комбайна – 35м, вага – 500 т.

5. Темпи (заявлені) – 6 м/добу.

Комбайн VSM. Об'єднавши переваги механічного руйнування ґрунтів та кріплення вертикальних виробок за методом опускного кріплення, компанія «Herrenknecht» створила комбайн VSM. Він призначений для спорудження стволів та/або їх технологічних відходів діаметром від 4,5 до 12 м глибиною до 100 м у м'яких та стійких ґрунтах міцністю до  $f=8$ , (рис. 17).

Технологія робіт VSM:

1. Руйнування порід - різальним барабаном, що обертається, оснащеним різцями, на висувній стрілі, здатній рухатися вгору-вниз і обертатися

2. Прибирання породи - розроблений матеріал гідралічно видаляється за допомогою занурюваного насоса: відкачується на поверхню до сепараційної установки, де відбувається відокремлення породи від води.



Рис. 16. Стволопрохідницький комбайн SBC

3. Кріплення стін – залізобетонними тюбінгами або монолітним бетоном за допомогою двох опалубок. Стіни ствола нарощуються на поверхні під домкратами, якими здійснюється занурення всього опускного кріплення, обладнаного внизу різальним черевиком. Сили тертя між зовнішніми стінами ствола та породою при зануренні зменшуються шляхом подачі тиксотропного глинистого розчину за кріплення.

4. Темпи – до 5 м/добу.

Застосування – понад 10 стволів, у тому числі 3 – у країнах СНД.

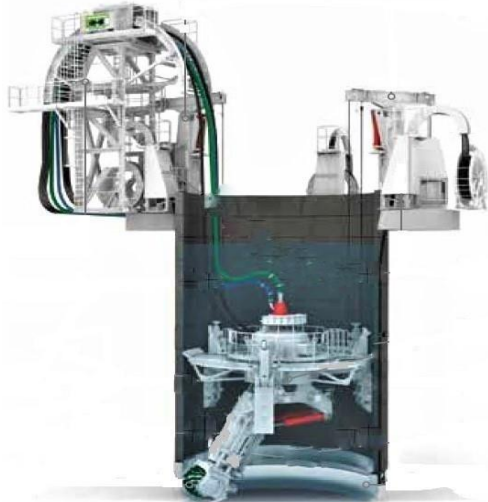


Рис. 17. Стволопрохідницький комбайн VSM

Комбайн SBM Спільно з гірничодобувною компанією «Rio Tinto Group» інженери компанії «Herrenknecht» розробили стволопрохідницький комплекс SBM (рис. 18), який може проходити стволи діаметром до 12 м у стійких необводнених породах на глибину до 2000 м.

Головною відмінністю агрегату є розгорнений на 90° виконавчий орган, що забезпечує вертикальне транспортування розробленої породи із вибою ствола вгору на пункт перевантаження в комбайні для подальшої видачі баддями на поверхню.

Технологія робіт SBM:

1. Руйнування порід – проводиться у два послідовні етапи. Під час першого етапу робочий орган проникає у породний масив як циркулярна пила, створюючи таким чином вруб глибиною 1,5 метра. Під час другого етапу він обертається навколо вертикальної осі машини, щоб обробити повний контур вибою ствола.

2. Прибирання породи – робочий орган не тільки розпушує породу, але також служить лопатевим колесом, яке транспортує зруйновану породу в центр через вбудовані канали. Там матеріал переноситься на вертикальний стрічковий транспортер, який переміщає його в породний бункер комбайна для видачі зі ствола баддями.

3. Кріплення стін – як і з комбайном SBR здійснюється з робочих полків за допомогою торкретбетону (анкера, сітка та шар набризкбетону).

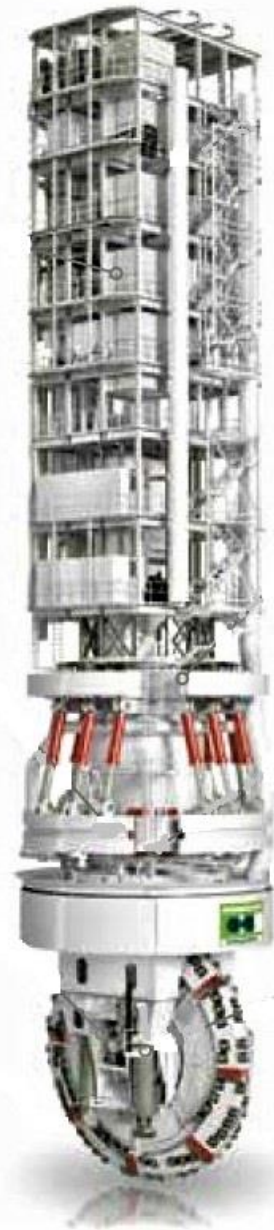


Рис. 18. Стволопрохідницький комбайн SBM

Комбайн SBE. Поєднавши технологію буріння стволів з поверхні землі по передовій свердловині та комбайновий спосіб проходки, (технологія «V-Mole»), компанія «Herrenknecht» у тісній співпраці з шахтопрохідницькою фірмою «Thyssen Schachtbau GmbH» (Німеччина) розробила комплекс SBE (Shaft Boring Machine for Shaft Enlargement – машина для буріння стволів з їх розширенням), рис. 19.

Комплекс призначений для проходки стволів діаметром до 9,5 м в твердих гірських породах. Застосування даної технології можливе лише за умови, що до ствола в найнижчій точці підходить

підсікаюча виробка, і у гірничого підприємства існують достатні потужності для транспортування породи від проходки, а також можливе безперервне провітрювання під час прохідницьких робіт. Також потрібна достатня стійкість передової свердловини, рис. 20, по всій глибині на весь період робіт із буріння ствола.

Принципово бурова машина SBE складається з таких компонентів, як і механізований тунелепрохідницький щит.

Технологія робіт SBE наступна:

1. Руйнування порід – 3 етапи буріння: 1) пілотна свердловина зверху донизу; 2) передова свердловина шляхом розширення пілотної знизу-вгору; 3) буровим органом роторного типу, оснащеним дисками або різцями з твердого металу, у напрямку зверху донизу з розширенням до діаметра стовбура.



Рис. 19. Стволопрохідницький комбайн SBE

2. Прибирання породи – зруйнована порода по передовій свердловині під дією сили тяжіння надходить у виробку, що

підсікає знизу, звідки видаляється діючим транспортом гірничого підприємства.

3. Тимчасове кріплення – на майданчику над буровим органом розташований полок, що обертається, з якого, за допомогою двох потужних гідравлічних бурових лафетів, здійснюється системне анкерування і повна затяжка стін ствола сіткою.



Рис. 20. Проходка ствола комплексом SBE з передовою свердловиною

1. Постійне кріплення – з багатоповерхового робочого полку, що підвішений на канатах полкових лебідок на висоті 15...20 м над буровою машиною. У полок інтегровано або переставну опалубку для монолітного бетону, або робот-

маніпулятор, що наносить набризк-бетон на тимчасове кріплення з сітки з анкерами.

2. Висота машини (без полку) становить близько 17 м, вага близько 350 т.

3. Темпи (заявлені) – 15...20 м/добу на 3-му етапі (розширення передової свердловини до діаметра ствола).

За технологією V-Mole фірма Thyssen Schachtbau GmbH за минулі 25 років побудувала загалом понад 20 км шахтних стволів. Фірма-виробник безштангових стволіпрохідницьких машин – Wirth Maschinen und Bohrgerate-Fabrik GmbH, Еркеленц. Темпи проходки повністю закріпленого ствола становили при цьому 10 м/добу і більше.

Досвід більш ніж 50 успішно здійснених проектів шахтного будівництва дозволив значно вдосконалити технологію V-Mole. (рис. 21). Так, розроблено комбайн для перетину вибою стовбура формацій міцних гірських порід (міцністю понад 250 МПа) із замкнутим роторним виконавчим органом, оснащений назад спрямованими різцями.

Згаданий роторний виконавчий орган було застосовано вперше 1996 р. для проходження сліпого вентиляційного ствола глибиною приблизно 750 м на південноафриканській золоторудній шахті Western Deep Levels. У зоні горизонтів 2285м і 3036 м понад 40% породних формацій показували опір одновісному стисканню понад 300 МПа, а формаціях вулканічної лави опір стиску досягало навіть 550 МПа.

Середня швидкість проходки ствола шахти методом буріння з розширенням попередньо пробуреної свердловини, що випереджає, може бути в межах приблизно 7-8 м/сут або близько 200 м/місяць. Це значення мінімальної продуктивності має бути орієнтиром при майбутній розробці методів та обладнання для механізованої проходки шахтних стволів. За технологією V-Mole фірма Thyssen Schachtbau GmbH за минулі 25 років побудувала загалом понад 20 км шахтних стволів.

Фірма-виробник безштангових стволіпрохідницьких машин – Wirth Maschinen und Bohrgerate-Fabrik GmbH, Еркеленц. Темпи проходки повністю закріпленого ствола становили 10 м/добу і більше.

Досвід більш ніж 50 успішно здійснених проектів шахтного будівництва дозволив значно вдосконалити технологію V-Mole. (рис. 21). Так, розроблено комбайн для перетину вибоєм ствола формацій міцних гірських порід (понад 250 МПа) із замкнутим роторним виконавчим органом, оснащений назад спрямованими різцями.



Рис. 21. Проходка ствола за технологією V-Mole з передовою свердловиною

Згаданий роторний виконавчий орган був застосований вперше у 1996 р. для проходження сліпого вентиляційного ствола глибиною приблизно 750 м на південноафриканській золоторудній шахті Western Deep Levels. У зоні горизонтів 2285 м та 3036 м понад 40% породних формацій показували опір одновісному стиску понад 300 МПа, а у формаціях вулканічної лави опір стиску досягав навіть 550 МПа.

Як приклад із недавнього минулого можна навести ствол Sedrun II для головного Готтардського тунелю (Швейцарія). Протягом лише 12 місяців було збудовано ствол глибиною 800 м, обладнаний установкою для підйому важких вантажів. Будівництво здійснено із застосуванням технології «V-Mole».

У ФРН та США пройдено комбайновим способом понад 30 стволів загальною довжиною більш як 9000 м, середньою глибиною 200-250 м та максимальною 700 м. Середня швидкість комбайнкової проходки з передовою свердловиною становила 8-10 м/добу, максимальна – 18 м/добу.

Нові застосування методу пов'язані з німецькою компанією Herrenknecht, яка розробляє унікальні стволопрохідницькі комплекси SBR та інші, згадані вище.

На пострадянському просторі найвідоміші бурові установки фірми «Вірт». Слід зазначити, більшість технологічних розробок, нововведень і винаходів, застосовуваних там, компанія здійснила СРСР спільно з інженерами тресту «Спецшахтобурение».

Найбільша потужна установка L-40 фірми «Вірт» має встановлену потужність 800 кВт. Гідравлічний привід ротора дозволяє плавно змінювати число обертів ротора при крутному моменті, 420 кН·м і бурити в оптимальних режимах.

Комбайн фірми «WIRTH» використовували для проходження чотирьох стволів діаметром 7 м на шахті «Jim Walter» у США. Стовбури проходили в піщанистих сланцях, пісковиках, сланцях та пластах вугілля.

На одному із стволів була здійснена спроба альтернативного пневматичного транспортування породи на поверхню. Система не змогла впоратися із піковою

продуктивністю 100 т/год, але показала свою працездатність.

Найбільш потужною установкою для буріння стволів з видаленням породи ерліфтом є американська бурова установка CSD-300. Установка призначена для буріння стволів діаметром до 6,1 м на глибину до 1000 м у породах будь-якої міцності та абразивності. Подача бурового ставу на забій і підйом здійснюють чотирима гідроциліндрами діаметром 300 мм із зусиллям 9000 кН і ходом 11,3 м. Обертач має гідропривід і розвиває крутний момент 690 кН·м, тобто в 1,5 рази більше, ніж на установці L-40 фірми «WIRTH». Бурильні труби подвійні, роз'ємного з'єднання та мають зовнішній діаметр 507 мм. По просторі між зовнішньою трубою та внутрішньою, діаметром 340 мм, подається суміш повітря та води. Повітря відокремлюється від води і забезпечує ерліфтний підйом породи внутрішньою трубою. Система підйому розрахована на продуктивність 1,5-2 т/хв. За допомогою такої установки стовбур діаметром 6 м, глибиною 644 м пройдено в США за 129 діб, включаючи 9 діб на демонтаж. При цьому було досягнуто скорочення тривалості проходки ствола в 4 рази в порівнянні з буропідливним способом.

Установкою цього ж типу в Австралії пробурений ствол діаметром 4,27 м, глибиною 750 м за породами міцністю 350 МПа за 228 діб.

Є позитивний досвід буріння стволів комбайнами GSB-450/500 (500/650, 650/850). За допомогою першої моделі були пробурені з поверхні 10 стволів з діаметром від 4,5 до 5,1 м, глибиною 200-300 м. Середня швидкість проходки змінювалася від 4,95 до 13,52 м/добу, а максимальна – від 8,5 до 21,15 м/добу. Другою моделлю SBM-V1-500/650 були пробурені 11 стволів діаметром від 5 до 6,8 м та глибиною до 463 м із середньою швидкістю від 5,4 до 13,4 м/добу. Максимальні швидкості досягали 23,35 м/добу. Третьою моделлю пробурені 7 стволів діаметром від 7 до 8,2 м, глибиною до 705 м. Середні швидкості проходки досягали 4,44 м/зміну.

Слід зазначити, що вдосконалюється і технологія буріння, і організація робіт із оснащення стволів. Так, під час проходження ствола № 7 монтажні роботи тривали 18 тижнів, проходка – 14, демонтаж

– 13. На стволі №4 монтаж тривав 13 тижнів, проходка – 15 та демонтаж – 9 тижнів. На стволі №4а ці показники становили 11; 6 і 7 тижнів, а на стволі №5 – 8; 5 та 6 тижнів.

Також з найбільш значних реалізованих проектів з ерліфтного буріння слід відзначити свердловини діаметром 3,05 м глибиною 1830 м, пробурену компанією «Parker Drilling» на острові Амчитка (США) та компанією «Shaft Drillers» глибиною 1700 м у штаті Невада (США).

Заслуговує на увагу досвід буріння стволів діаметром до 10 м у Китаї. Було творчо перероблено досвід радянських і західних бурильників і створено свої верстати з вантажопідйомністю до 800 т і потужним крутним моментом (рис. 22,23,24).



Рис. 22. Бурова установка AD120/900 на рейковому ході

Враховуючи фактор викривлення стволів при бурінні на велику глибину, у Китаї відпрацьовано технологію буріння до глибини 300 м із кріпленням залізобетонними кільцями. Опущення колони провадиться на плаву. Технологія дозволяє пройти та закріпити ствол у водоносних горизонтах з притоками до 300 м<sup>3</sup>/годину та придушити водоприплив. За

час буріння проводиться оснащення ствола і далі він проходить у сухих породах за традиційними технологіями.



Рис. 23. Бурова установка L 40/1000 з нерухомими та шарнірними опорами



Рис. 24. Бурова установка AS 12/800 на рейковому ході

Також перспективним напрямком є використання підземних верстатів для розбурювання вниз та буріння шахтних стволів, спорудження підняттевих виробок компанії «Ерігос», яка вже має філію в Україні. Продуктова лінійка містить моделі, у тому числі відомого бренду Robbins, для стандартного буріння виробок, що повстають, буріння під збійку, а також нижнього розбурювання стволів та свердловин. До прикладу, верстат Robbins 92R для буріння свердловин діаметром від 2,4 до 6,0 м, який відрізняється універсальністю, підвищеною безпекою та продуктивністю, повним контролем з віддаленої робочої станції, рис. 25.



Рис. 25. Буровий верстат Robbins 92R

Ці бурові верстати можуть використовуватися як в галузі цивільного будівництва, так і в гірничодобувній галузі для буріння шахт вентиляції, дренажу, рудоспусків, виконання зворотного засипання, підйому вантажів, буріння довгастих отворів та напірних водоводів для гідроелектростанцій. Верстати оснащені пристроєм для легкої та безпечної подачі та укладання труб, а також комп'ютерною системою керування RCS, яка забезпечує високу точність буріння, надійність обладнання та зручність технічного обслуговування верстатів для проходження виробок, що повстають.

Стосовно умов шахтоуправління «Покровське» треба зазначити, що спорудження нових флангових стволів традиційними технологіями на діючих та проєктованих блоках в майбутньому ще більш ускладниться через високий обсяг попередніх витрат, тривалий період підготовчих робіт та оснащення і шкідливий вплив на довкілля, внаслідок використання під промислові майданчики великих земельних ділянок площею – 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 [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 пройдені 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 розкривних виробок.

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 3000 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 вибірної 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 буропідливною 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.

Саме тому, застосування комбайнової технології проходки вертикальних стволів на сучасному етапі доводить її переваги перед буропідливною, 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 можливо тільки за умов прийняття та реалізації у повоєнній Україні сучасного аналогу «плану Маршалла» від провідних країн-партнерів після перемоги [11].

Отже, широке впровадження комбайнів в вітчизняну стволопрохідницьку практику поки обмежене їхньою високою вартістю. 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.

До того ж, робота на таких машинах потребують докорінного перенавчання як прохідників і ІПП, так і проектувальників, і конструкторів [1, 3, 5, 10].

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;

- 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 прохідницьких робіт на всіх етапах будівництва;

- широке використання техніки при механізованій прохідці стволів

За фактором витрат праці механізована проходка удвічі економічніша за буропідливний спосіб, а за витратами на обладнання вона в рази дорожча.

Швидкість спорудження стволів та свердловин не дорівнює безпосередньо швидкості проходки, треба враховувати загальний час спорудження ствола з оснащенням, спорудженням сполучень і армуванням. Такі показники складають не 100 м/міс при суміщеній схемі і 200 м при паралельній, а 15-20 м в місяць комерційної швидкості спорудження.

Для детального 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 чинників кризи у вітчизняній вугільній промисловості була практична відмова у 90-ті та 00-ві роки від спорудження вертикальних стволів та свердловин, головних виробок в питаннях

безпеки і видобутку. До того ж, в суспільстві ще не сформувалася думка, що видобуток корисних копалин, разом з альтернативною енергетикою, не єдиний користувач вертикальних стволів. Наразі ж економіки передових країн націлені на експлуатацію вже побудованих стволів і потребує нових. У світі щорічно вводиться в експлуатацію понад 20 кілометрів стволів, щодо свердловин коректних даних про обсяги приросту немає. До прикладу, тенденція виведення гірників з підземних вибоїв дає альтернативу вуглевидобутку – підземну газифікацію. А це, знову ж, велика кількість стволів і свердловин.

Будівництво вертикальних стволів і свердловин є специфічною і однією з головних складових шахтного і підземного будівництва. Тенденція зростання обсягів проходки в світі спонукає вітчизняних шахтопрохідників вивчати і впроваджувати прогресивні методи спорудження вертикальних стволів. За кордоном апробовані схеми проходки за допомогою БПР, поступаються місцем механізованим стволопрохідницьким комплексам. Така модернізація, яка зачіпає поверхнєве і підземне будівництво, різко поліпшує умови праці і підвищує якість робіт, знижує трудомісткість, це дозволяє, зокрема, залучення і навчання молодих робітників, для яких у пріоритеті престижність праці.

Наразі буропідливний спосіб залишається переважаючою технологією тільки в Україні. У світі найбільше поширення отримують механічні технології: штангове буріння на весь переріз, висхідне буріння по пілот-свердловині, проходка по випереджувачій свердловині і спорудження потужними стволопрохідницькими комбайнами.

Перспективна і роль буропідливних технологій, які ще не вичерпали себе і можуть удосконалюватися за рахунок оптимізації і модернізації схем проходки, поверхнєвого комплексу оснащення, стволового і вибійного обладнання.

Таким чином, з урахуванням ситуації сьогоdnішнього дня – воєнного стану, перспективи повоєнної розбудови вугільної галузі, досвіду минулих років, тренду розвитку світової економіки та нагальної потреби освоєння підземного простору, висновки наступні:

- основні питання функціонування великого підземного гірничодобувного підприємства безальтернативно вирішуються шляхом своєчасного спорудження вертикальних стволів та свердловин;

- спорудження нових і підтримання існуючих стволів та свердловин забезпечить диверсифікацію вугільних підприємств на довгі роки, у тому числі на постексплуатаційний період;

- нові, перш за все, механізовані, технології проходки вертикальних виробок мають, в першу чергу, забезпечувати підвищення ефективності капітальних вкладень, дотримання економічно обґрунтованих термінів будівництва стволів та свердловин, як до масштабного «зеленого переходу», так і в період його впровадження.

Без впровадження новітніх технологій спорудження стволів та свердловин на основі зарубіжних і вітчизняних розробок, модернізації існуючого обладнання, придбання нового, в т.ч. з використанням такого сучасного продукту, як лізинг, прогрес в шахтному будівництві, а відтак і у повоєнній розбудові вуглевидобувної галузі нашої країни, неможливий. Також, очевидно, не обійтися без прийняття та впровадження партнерами України сучасного аналогу «плану Маршалла» після перемоги у визвольній війні.

### 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. Zhao X, Deng L, Zhou X, Zhao Y, Guo Z. (2022) A Primary Support Design for Deep Shaft Construction Based on the Mechanism of Advanced

Sequential Geopressure Release. *Processes*; 10(7):1376. <https://doi.org/10.3390/pr10071376>

7. Амоша А.И. (2013). От промышленного предприятия к промышленному парку: смена парадигмы на примере ш/у "Покровское" / А.И. Амоша, О.Д. Кожушок, В.В. Радченко, Е.Н. Халимендинов, Д.Ю. Череватский, Е.А. Юшков // Экономика промышленности. № 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 промышленности*. № 1(69). 74-83.

9. Левит В. В. (2008). Сооружение стволов бурением. В. В. Левит, В. И. Пилипец. Донецк: Норд-Пресс. 286 с.

10. VSM9000 vertical shaft tunneling machine. [https://www.herrenknecht.com/fileadmin/Picture\\_Park/High\\_Resolution\\_Vertical\\_shaft\\_sinking\\_machine\\_VSM9000\\_constructing\\_an\\_vertical\\_shaft](https://www.herrenknecht.com/fileadmin/Picture_Park/High_Resolution_Vertical_shaft_sinking_machine_VSM9000_constructing_an_vertical_shaft).

11. Heather A. Conley. (2022). A Modern Marshall Plan for Ukraine. Seven Lessons from History to Deliver Hope. Washington, DC • Berlin • Brussels • Ankara • Belgrade • Bucharest • Paris • Warsaw. [www.gmfus.org](http://www.gmfus.org), 22 p.

12. Левит В.В. (2020). Про досвід і перспективи застосування технологій проходження вертикальних стволів в Україні. В.В. Левит, В.І. Каменець, Ю.В. Мукомел. *Наукові праці ДонНТУ. Серія Гірничо-геологічна*. №3(23)-4(24). 78-100.

## 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](https://www.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. Zhao X, Deng L, Zhou X, Zhao Y, Guo Z. (2022) A Primary Support Design for Deep Shaft Construction Based on the Mechanism of Advanced Sequential Geopressure Release. *Processes*; 10(7):1376. <https://doi.org/10.3390/pr10071376>.

7. Amosha A.Y. (2013). От промисленого підприємства к промисленому парку: смена парадигмы на примере ShU Pokrovskoe / A.Y. Amosha O.D. Kozhushok B.V. Radchenko E.N. Khalymendykov D.Yu. Cherevatskiy, E.A. Yushkov // Экономика промышленности. № 1-2. С. 13-17.

8. Yliashov M A. (2015). Triokhmernyye industrialnyie parki: opredeleniie, osobennosti i napravleniia razvitiia/ M A. Yliashov, V.V. Levit, D.Yu. Cherevatskiy // *Экономика промышленности*. № 1(69). С. 74-83.

9. Levit B. B. (2008). Sooruzhenye stvolov burenyem: ucheb. posobyie / V. V. Levit, V. I. Pylypets. - Donetsk: Nord-Press. - 286 p.

10. VSM9000 vertical shaft tunneling machine. [https://www.herrenknecht.com/fileadmin/Picture\\_Park/High\\_Resolution\\_Vertical\\_shaft\\_sinking\\_machine\\_VSM9000\\_constructing\\_an\\_vertical\\_shaft](https://www.herrenknecht.com/fileadmin/Picture_Park/High_Resolution_Vertical_shaft_sinking_machine_VSM9000_constructing_an_vertical_shaft).

11. Heather A. Conley (2022). A Modern Marshall Plan for Ukraine. Seven Lessons from History to Deliver Hope. Washington, DC • Berlin • Brussels • Ankara • Belgrade • Bucharest • Paris • Warsaw. [www.gmfus.org](http://www.gmfus.org), 22 p.

12. Levit V.V. (2020). Pro dosvid i perspektivy zastosuvannia tekhnolohii prokhodzhennia vertykalnykh stvoliv v Ukraini. V.V. Levit, V.I. Kamenets, Yu.V. Mukomel. *Naukovi pratsi DonNTU. Seriya Hirnycho-geolohichna*. №3(23)-4(24). 78-100.

Надійшла до редакції 15.05.2023

**Левіт Віктор Володимирович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри геотехнічної інженерії ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (м. Луцьк, Україна).

Email: [viktor.levit@donntu.edu.ua](mailto:viktor.levit@donntu.edu.ua)

**Каменець В'ячеслав Ігорович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничої справи ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка» (м. Запоріжжя, Україна).

Email: [viacheslav.kamenets@mipolytech.education](mailto:viacheslav.kamenets@mipolytech.education)

**Мукомел Юрій Вікторович** – аспірант кафедри геотехнічної інженерії ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (м. Луцьк, Україна).

Email: [yurii.mukomel@donntu.edu.ua](mailto:yurii.mukomel@donntu.edu.ua)

## PROSPECTS OF USING THE LATEST TECHNOLOGIES OF SHAFT AND WELL CONSTRUCTION FOR THE POST-WAR DEVELOPMENT OF THE COAL INDUSTRY IN UKRAINE

**Purpose** Analysis of production experience, scientific and technical developments and assessment of prospects for the use and development of the latest technologies for the construction of vertical mine shafts and wells for the post-war development of the coal industry of Ukraine.

**Methods.** The methods of analysis of the accumulated production experience of drilling shafts and wells, first, in the leading mining countries and in Ukraine, as well as scientific and technical literature, were use.

**Findings.** The classification of technologies of vertical shafts and wells construction methods was consider. It's tested and promising ones for Ukraine were analyze, in relation to the restoration and creation of mining capacities,

*technological schemes and equipment for the construction of vertical openings mainly with mechanical destruction of rocks in the hole, the production experience of the Donetskhakhtoprokhodka and Spetsshakhtoburinnia trusts was summarize. from the point of view of use, in particular, during the construction of new coal blocks of PJSC «Mining Management «Pokrovske», large-scale investment projects. The possibility of using a modified parallel technological scheme for traditional blasting technology is substantiate. The prospects of mechanized boring of shafts in Ukraine – by drilling and with the use of shaft boring combines of leading world manufacturers – were evaluate. These opportunities can be realize in case of acceptance and implementation by Ukraine's partners of a modern analogue of the "Marshall Plan" after the victory over the aggressor.*

**Originality.** *The results of the analysis of technological schemes and methods of drilling vertical shafts and wells, the accumulated production experience and scientific and technical developments are summarize, the trends and prospects of the development of mine construction technologies – the driver of the development of the national mining industry – are considered.*

**Practical implication.** *The analysis of technological schemes and methods of drilling vertical shafts and wells is perform based on domestic and foreign production experience.*

**Key words:** *vertical shaft, borehole, sinking technology, mechanical fracture, rodless boring, shaft-borehole machine, pilot borehole.*

**Levit Viktor** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Geotechnical Engineering, SHEI «Donetsk National Technical University», (Lutsk, Ukraine).

E-mail: [viktor.levit@donntu.edu.ua](mailto:viktor.levit@donntu.edu.ua)

**Kamenets Viacheslav** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mining, LLC Technical University «Metinvest Polytechnic», (Zaporizhzhia, Ukraine).

E-mail: [viacheslav.kamenets@mipolytech.education](mailto:viacheslav.kamenets@mipolytech.education)

**Mukomel Yurii** – Postgraduate student of the Department of Geotechnical Engineering, SHEI «Donetsk National Technical University», (Lutsk, Ukraine).

E-mail: [yurii.mukomel@donntu.edu.ua](mailto:yurii.mukomel@donntu.edu.ua)