

**ГІРНИЦТВО
MINING**

УДК 622.232.72

<https://doi.org/10.31474/2073-9575-2023-2-30-7-17>**І.Г. Сахно
А.В. Петренко****СУЧАСНІ ТРЕНДИ МЕХАНІЗОВАНОГО ВІДПРАЦЮВАННЯ ТОНКИХ
ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ В СВІТЛІ КОНЦЕПЦІЇ MINING 4.0**

Мета. Аналіз сучасних тенденцій розвитку технологій підземного видобутку вугілля з тонких пластів з метою визначення загальних рис і трендів, що дозволяють зрозуміти місце українських вугільних підприємств і світовому контексті.

Методика. У роботі використано метод інженерного аналізу, синтезу і узагальнення інформації різних літературних джерел.

Результати. Більше 70% українського вугілля знаходиться в пластах потужністю 0,7- 1,2м. Видобуток вугілля на таких пластах пов'язаний з обмеженим робочим простором, що стримує інтенсифікацію вуглевидобутку традиційним способом. Поступове скорочення світових запасів вугілля в потужних пластах і пластах середньої потужності призводить до зміни фокусу розвитку стратегій підземного вуглевидобутку на пласти з середньою потужністю 0,8-1,3м, що стає ключовим у стратегічних планах видобутку різних вугільних басейнів. Загальним трендом при цьому є безпілотні способи видобутку з орієнтацією на безлюдне виїмання. Вже традиційне малокорпусне обладнання для виїмання вугілля з ручним керуванням витісняється інтелектуальними системами видобутку. Сучасна інтелектуальна система механізованого видобутку тонких вугільних пластів включає електрогідрравлічну систему управління механізованою секцією, систему автоматичного різання вугілля та систему відеоспостереження за виїмальною машиною і інтегровану систему подачі рідини та дистанційну централізовану систему контролю. Елементи вказаної системи детально проаналізовані в роботі.

Наукова новизна полягає у встановленні загального тренду еволюції технологій підземного видобутку тонких вугільних пластів повністю механізованими лавами.

Практичне значення. Результати досліджень можуть бути використані при виборі і обґрунтуванні технологічних схем очисних робіт, стратегічному і оперативному плануванні розвитку вугільних підприємств, що видобувають вугілля з тонких пластів.

Ключові слова: Mining 4.0, Industry 4.0 в гірництві, інтелектуальний механізований вибій, видобуток тонких пластів, інтелектуальна система видобутку.

Вступ.

Більше 75% запасів вугілля в Україні знаходиться в тонких пластах. Це стосується як підготовлених і розкритих, так і розвіданих запасів [1, 2, 3] Тонкі вугільні пласти досить широко поширені при видобутку вугілля не тільки в Україні [4]. Наприклад, у Китаї запаси вугілля в тонких вугільних пластах становлять приблизно 20% від загального обсягу вугільних ресурсів, а його поширення охоплює понад 85% гірничих районів Китаю [5]. Впродовж останніх десяти років запаси вугілля в пластах середньої потужності значно зменшилися [1]. Для підтримки сталого розвитку гірничодобувних районів видобуток тонких вугільних пластів, потужність яких зазвичай становить

менше 1,3 м, стає все більш важливим. Видобуток тонких вугільних пластів, особливо з середньою потужністю більше 0,8 м, стає ключовим у стратегічних планах видобутку різних вугільних басейнів, зокрема у регіоні Яньчжоу в Китаї та регіоні Південних Аппалачів у США [6].

Існує багато технічних проблем, які перешкоджають розвитку високоефективного видобутку тонких вугільних пластів, одна з яких пов'язана з обмеженим робочим простором, що стримує застосування традиційного механізованого гірничого обладнання. Це обмеження стимулювало появу специфічного малокорпусного та високопотужного обладнання для виїмання вугілля. За останні два десятиліття було досягнуто значних результатів і поступово покращено рівень

автоматизації розробки тонких вугільних пластів.

Разом з тим різкий розвиток технологій, покладених в основу концепції Industry 4.0 призводить до незворотних технологічних змін в гірництві, що знаходить відбиток в зміні фокусу ключових стратегій гірництва [7, 8]. Запровадження концепції Mining 4.0 в підземному видобутку вугілля пов'язано насамперед з безпілотними технологіями видобутку, міжмашинними взаємодіями, використанням розумних сенсорів, що сприяє переходу на безлюдні системи виймання. Великим кроком в цьому напрямку є інтелектуальний механізований видобуток.

Короткий аналіз сучасних способів механізованого виймання тонких пластів.

В даний час у повністю механізованих вибїях тонких вугільних пластів зазвичай використовуються чотири типи вугільних машин: комбайни, струги, комбайни безперервної дії (майнери) і бурошнекові машини.

Перші два типи машин працюють в комплексно-механізованих лавах. Це дозволяє забезпечити максимальний рівень видобутку і трудомісткість робіт в вибої. Найбільш значна увага приділяється поєднанню трьох механізмів, розташованих у довгому очисному вибої – виймальної машини (вугільного комбайна або струга), лавного конвеєра і секцій механізованого кріплення, з метою підвищення продуктивності обладнання, та зменшення трудомісткості робіт. Хоч принцип виймання вугілля в комбайнах (рис. 1а) і стругах (рис. 1б) різний, технологія робіт в лаві схожа, і рішення щодо автоматизації комбайнового і стругових механізованих вибїїв також симетричні. Сучасні стругові комплекси з електрогидравлічною системою керування і контролем глибини різання можуть працювати на пластах потужністю більше 0,60м при цьому забезпечуючи техніко-економічні показники кращі за традиційні комбайнові комплекси.

Комбайни безперервної дії (рис. 2) використовуються виключно при камерно-стовповій системі розробки, яка є традиційним методом підземного видобутку вугілля в США і Австралії. Вугілля виймається у міру проведення подовжніх

камер і поперечних виробок, що з'єднують камери, комбайнами безперервної дії, які поєднують процеси руйнування вугілля у вибої і навантаження його на самохідні вагони. Камери і поперечні виробки зазвичай мають ширину близько 6 м (яка співпадає з шириною барабана – виконавчого органу майнера) і висоту, що відповідає потужності пласта. В комплекті з майнером працює установщик анкерного кріплення.



а)



б

Рис. 1. Комбайн [9] (а) та струг [10] (б) для виймання тонких пластів вугілля

Така технологія використовується на пластах, що залягають на невеликих глибинах – до 600 м. На більших глибинах через великі втрати вугілля в ціликах і складність підтримання камер камерно-стовпові системи не мають переваг. В США і Австралії в останнє десятиліття при збільшенні глибини розробки пластів спостерігається перехід від камерно-стовпових систем до традиційних лав з комбайнами і стругами.

Бурошнековий метод видобутку знайшов впровадження в підземних умовах після довгого випробування на кар'єрах з видобутку вугілля (рис. 3). Він полягає у вийманні ротаційним способом свердловин великого діаметру через задані проміжки. Проміжки, залишені між свердловинами, є

опорними ціликами. Ріжуча головка виконавчого органу завантажує вугілля на шнек, який транспортує її до конвеєра, що розташований на штреку.



Рис. 2. Комбайн безперервної дії SM-210 [11]

Спосіб характеризується низьким коефіцієнтом вилучення запасів (30–40%), водночас він дешевий і дозволяє швидко розпочати та завершити роботи. І хоч в буршнековому вийманні видобуток ведеться без знаходження людини в вибої, що усуває необхідність використання вентиляції виробок і їх кріплення, основним недоліком цієї технології є великі втрати вугілля і низький видобуток порівняно з лавним способом виймання. Тому перспективи використання цього способу обмежуються вийманням вугілля з ціликів, під геологічними порушеннями і в інших специфічних умовах.

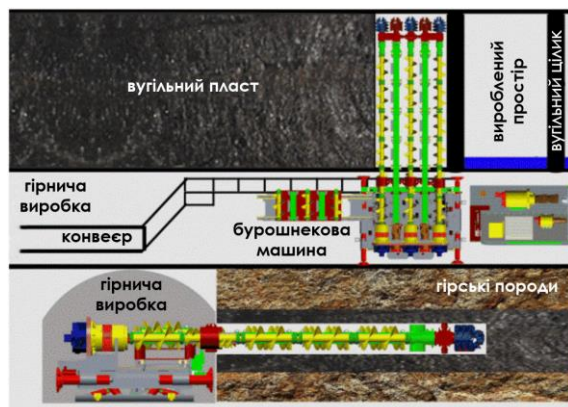


Рис. 3. Буршнекова машина [12]

Таким чином, наведений аналіз вказує, що найбільша перспектива механізованого виймання тонких вугільних пластів пов'язана з удосконаленням технологій виймання вугілля в лавах за допомогою стругових і комбайнових комплексів.

Аналіз досліджень за темою.

Ключова проблема при розробці тонких вугільних пластів – низький і вузький робочий простір вибою. Як наслідок, люди не

можуть пересуватися в повний зріст, що також обмежує інтенсивність робіт. Крім того, ускладняється управління машинами та ремонт обладнання лави, що погіршує рівень аварійних станів і нещасних випадків на виробництві. Якщо для вітчизняних вугільних шахт такі умови, нажаль, стали нормою, світові лідери вуглевидобутку, що тільки стикаються з необхідністю інтенсифікації видобутку з тонких пластів не готові працювати в таких умовах.

Тому розвиток автоматизації та інтелект-обладнання та технології є ключовим і неминучим вибором для реалізації безпечної та ефективної розробки тонких вугільних пластів.

Вугільна промисловість поступово розвивається від ручного видобутку вугілля та напівмеханізованого видобутку вугілля до механізованого, комплексно-механізованого та автоматичного видобутку вугілля. Останніми роками почався рух від автоматичного до інтелектуального видобутку, що в цілому відповідає концепції Mining 4.0. З великими проривами в інформаційних технологіях нового покоління, таких як зв'язок 5G, великі дані та Інтернет речей, модернізація та перетворення режиму видобутку вугілля від автоматизації до інтелектуального отримали технічну підтримку. Концепції розумних вугільних шахт та інтелектуальних шахт поступово стають зрозумілими, а стандарти та специфікації поступово завершуються, що закладає основу для їх широкомасштабної популяризації та застосування.

В даний час увага багатьох дослідників сфокусована на дослідженні інтелектуального видобутку вугілля. Ван [13] повідомив про інтелектуальну систему для механізованого обладнання видобутку вугілля із незалежними китайськими правами інтелектуальної власності. Інтелектуальну модель видобутку було створено для реалізації безпілотної роботи з залученням до роботи в вибої лише одного гірника. Басарір і Массіней [14] запропонували інтелектуальний, повністю механізований видобуток вугільних пластів. Технологія реалізується за допомогою гідравлічного обвалення, інтелектуальної системи проведення виробок і інтелектуальної технології керування, таким чином забезпечуючи еталон для повного

інтелектуального будівництва глибоких вугільних пластів. Тіан [15] висунув п'ять ключових напрямків досліджень і розробок інтелектуальних вугільних шахт, аналізуючи ключові технічні проблеми, пов'язані з кожним напрямком досліджень і розробок. Він відзначив, що інтелектуальні вугільні шахти є великомасштабними системами, і вони повинні дотримуватися теорії системної інженерії та гірничого законодавства, щоб розробити інтегровану платформу управління, розробки та експлуатації інтелектуальної гігантської системи вугільних шахт. Шен [16] узагальнив чотири етапи інтелектуального видобутку, проаналізував особливості виробництва та технічні передумови на різних етапах, запропонував модель теорії управління в режимі інтелектуальної адаптивної технології очисних робіт. Янг [17] проаналізував технічні труднощі, такі як точний контроль руйнування, надійність обладнання, точність сприйняття, погана координація та інші технічні труднощі при інтелектуальному комплексному видобутку.

У статті [18] запропоновано використання принципу наземного керування в повністю механізованій лаві, що передбачає регулювання об'єму перепуску рідини в гідросистемі повністю механізованої системи виробки лав при осіданні порід покрівлі.

Ву [19] досліджував поточну ситуацію та тенденцію розвитку технології інтелектуального гірничого видобутку в комплексному гірничому заборі та розділив технологію інтелектуального гірничого видобутку в комплексному гірничому заборі на два етапи, а саме: інтелектуальний безпілотний видобуток у режимі дистанційного керування візуалізації та інтелектуальний безпілотний видобуток в адаптивному режимі.

Аналізуючи поточний стан візуального дистанційного управління, робототехнічної інспекції та технологій інерціальної навігації, Хуанг [20] представив чотиривимірну інтелектуальну інфраструктуру системи видобутку вугілля, яка охоплює «зчитування інформації, прийняття рішень, виконання, експлуатацію та обслуговування». Крім того, були окреслені технологічні досягнення, необхідні для розвитку ключових інтелектуальних технологій вугілля.

Болоз [21] детально проаналізував загальні методи видобутку при підземній розробці тонких вугільних пластів і несправності в гірничих машинах. У статті запропоновано конструктивне технічне рішення підвищення контактної адаптивності механічної опори покрівлі. Розроблене рішення секції механізованого кріплення здатне адаптуватися до мінливих гірничо-геологічних умов у процесі виїмки [22]. Крім того, процес інтелектуальної розробки стикається з численними проблемами, такими як неоднозначні концепції та технічні конотації та нечіткі режими видобутку та технічні маршрути, серед іншого.

В сьогоденнішньому розумінні інтелектуальна гірнична система механізованого видобутку тонких вугільних пластів включає:

- електрогідравлічну систему управління механізованою секцією;
- систему автоматичного різання вугілля та систему позиціонування (відеоспостереження) виймальної машини,
- інтегровану систему подачі рідини та дистанційну централізовану систему контролю.

Таким чином у інтелектуальному механізованому вугільному вибою використовуються автоматизовані механізовані секції, що переміщуються електрогідравлічною системою керування, а також відображають і контролюють положення комбайна (струга) та секції кріплення в режимі реального часу за допомогою датчиків, встановлених на комбайні та секції, щоб гарантувати, що секція автоматично переміщується слідом за комбайном.

Завдяки автоматичному різанню вугілля комбайном і системі позиціонування (відеоспостереження) стан різання вугілля комбайном редагується, а положення та напрямки руху комбайна вздовж лави постійно фіксується і контролюються для реалізації автоматичного різання вугілля комбайном відповідно до видобутку вугілля.

Підключення кількох насосних станцій і дистанційне керування кількома машинами реалізуються за допомогою інтелектуальної інтегрованої подачі рідини та дистанційної централізованої системи керування. Скоординоване управління та централізоване керування обладнанням комплексного

механізованого видобутку вугілля забезпечує безперервну, ефективну та безпечну роботу обладнання. Склад інтелектуальної системи

видобутку в повністю механізованому вибої вугілля в тонкому вугільному пласті показано на рисунку 4.



1 – підземний пункт автоматизованого керування інтелектуальною системою видобутку; 2 – інтерфейс взаємодії людина-комп'ютер; 3 – видобувний комбайн; 4 – автоматизовані механізовані секції кріплення; 5 – пульт управління електрогідролічною системою; 6 – насосна станція.

Рис. 4. Склад інтелектуальної системи видобутку

Принципова схема механізованого комплексу з інтелектуальною системою видобутку наведена на рисунку 5.

Електрогідролічна система керування мехсекціями в основному складається з трьох аспектів, як показано на рисунку 6.

Усі секції інтелектуальних повністю механізованих лав оснащені одним контролером, вісьмома датчиками, одним драйвером і однією групою електрогідролічних регулюючих клапанів, які разом складають найпростіший блок керування. Контролер є ядром блоку управління. Це мікрокомп'ютер, який оснащений операційним програмним забезпеченням та інтерфейсом взаємодії людина-комп'ютер. Це платформа для роботи операторів з кріплення.

Ланка моніторингу включає в себе п'ять типів і вісім видів датчиків, які включають датчики тиску стійок, інфрачервоні приймачі, датчики домкрата передвижки, датчики наближення комбайна, датчики нахилу (головний верхній промінь, щитовий промінь і хвостовий промінь) і опускання задньої частини секції датчики ходу променю. Виконавча ланка включає в себе привід і групу електрогідролічних клапанів, які приводять в дію операцію висунення та скорочення гідродомкрата.

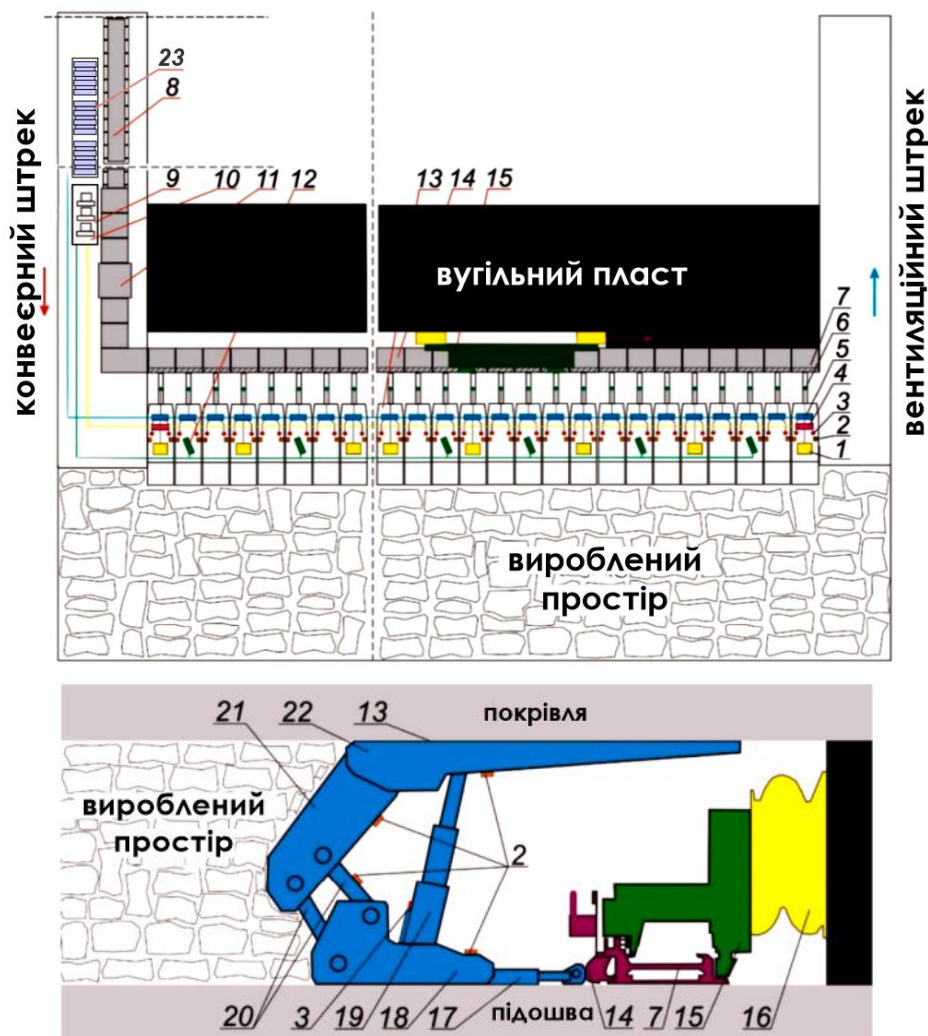
Усі допоміжні контролери з'єднані між собою, щоб утворити мережеву систему зв'язку, а передача даних між контролерами здійснюється за допомогою технології шини. Після з'єднання контролерів реалізуються такі основні функції, як керування

суміжною/відокремленою секцією, дистанційне керування, автоматичне керування окремою секцією або групою, аварійна зупинка всієї лінії, відображення інформації про стан та несправності тощо.

Система оснащена необхідним апаратним забезпеченням (з'єднувачем та ізоляційним з'єднувачем тощо) та

відповідним програмним забезпеченням для передачі даних і функції керування для взаємозв'язку контролерів.

Спеціальний контролер-перетворювач сигналу, встановлений і підключений до нижньої секції в лаві, який може забезпечити роботу системи керування вибієм.



- 1—блок живлення, 2—інклінометр, 3—датчик тиску, 4—центральный контролер, 5—контролер з виконавчим блоком, 6—датчик маршруту, 7—скребковий конвеєр, 8—стрічковий конвеєр, 9—керування комбайном з станцією телебачення, що контролює робочі параметри, 10—скребковий конвеєр, 11—дробарка, 12—камера відеоспостереження, 13—секція мехкріплення, 14—навісне обладнання конвеєра, 15—комбайн, 16—шнек, 17—домкрат передвижки, 18—основа підшви, 19—гідр. стійка, 20—система траверс, 21—огороження секції, 22—перекриття. 23—насосна станція з інтелектуальною системою керування

Рис. 5. Принципова схема механізованого комплексу з інтелектуальною системою видобутку

Підземний головний керуючий комп'ютер встановлюється на конвеєрному штрехі та з'єднується з допоміжним контролером лави (перетворювачем сигналів). Головний керуючий комп'ютер запускає власне програмне забезпечення, збирає та зберігає дані та параметри,

викликає та відображає ці параметри даних у будь-який час, а також контролює робочі умови та стани дій секцій.

Електрогідравлічна система управління гідравлічної секції може виконувати різні функції, і секція може реалізувати автоматичне керування в групах,

включаючи автоматичне опускання, автоматичне пересування, автоматичне підняття, автоматичне висування та втягування домкрата передвижки, автоматичне висування та втягування телескопічної балки, тощо. Основним призначенням електрогідравлічної системи

керування секцією є реалізація функції автоматичного пересування секцій за виймальною машиною та задвижка конвеєра з комбайном.

Автоматична система різання вугілля комбайном використовує різання з пам'яттю.

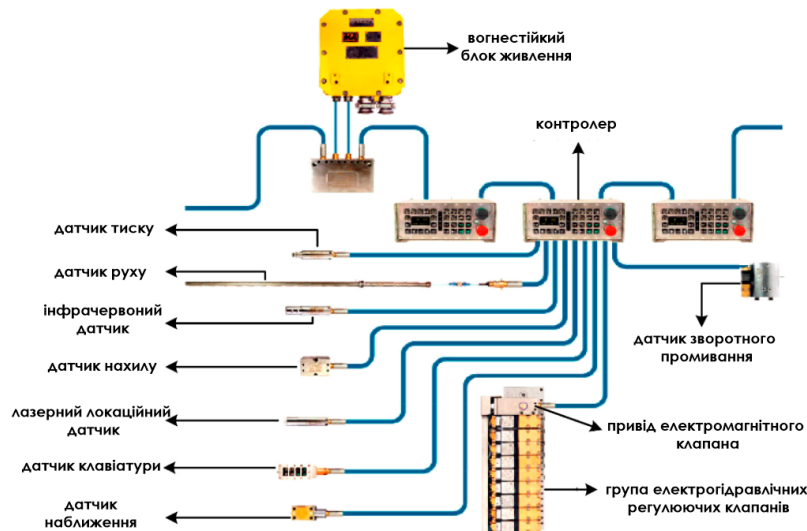


Рис. 6. Структурна принципова схема електрогідравлічної системи керування мехсекції [23]

В процесі обробки редагується таблиця стану автоматичного різання вугілля (всього редагується 22 стани).

Для забезпечення динамічного захоплення вибою в режимі реального часу встановлюється по одній камері на кожні три секції в лаві, яка встановлена на передній головній верхній балці передньої стійки. Ці камери можна автоматично перемикає відповідно до положення комбайна, щоб забезпечити постійний моніторинг середовища різання вугілля комбайном. Крім того лави також обладнуються камерами в спеціальних зонах, включаючи передню та задню камери, виймальної машини.

Спеціальні зональні камери можуть динамічно контролювати роботу конвеєра та рух вугілля у цих ключових частинах у режимі реального часу. У центрі управління та наземному диспетчерському пункті встановлюються відеомонітори, які відображають відео спеціальних ділянок стаціонарно, відео робочого забою і відео вибою в процесів виймання.

На кінцях лави комбайн виконує самозарубку косими заїздами відповідно до запрограмованої схеми. Обладнання моніторингу стану лави наведено на рис. 7.

Система подачі робочої рідини до гідросистеми мехкомплексу складається з чотирьох частин: насосної станції, резервуара для рідини, системи керування та багатоступеневої системи фільтрації.

Це автоматичне обладнання, що включає насосну станцію, автоматичне керування електромагнітним розвантаженням, керування перетворенням частоти, багатоступінчасту фільтрацію, автоматичне дозування емульсії, запис стану роботи системи та завантаження. Відповідно до фактичних потреб робочої поверхні можна спроектувати систему подачі рідини з різними рівнями потоку та різними вимогами до конфігурації, і вона сумісна з більшістю насосних станцій, комбінованих перемикачів і перетворювачів частоти.

Система оснащена багатоступеневою системою фільтрації, що включає станцію фільтрації води на вході, фільтр додавання

води, станцію фільтрації високого тиску та станцію фільтрації зворотної рідини. Завдяки поєднанню фільтруючих елементів з різною точністю та потоком забезпечується очищення рідини та стабільність системи. У той же час пристрій для автоматичного дозування емульсії використовується на робочій поверхні для забезпечення стабільного автоматичного дозування емульсії. Крім того, емульсійна насосна станція використовує електромагнітне керування розвантаженням, щоб реалізувати пуск і зупинку емульсійного насоса без

навантаження, а також має різноманітні інтелектуальні режими керування, такі як одиночне керування, верхнє керування та спільне керування, які реалізують інтелектуальне з'єднання кількох насосних станцій і може реалізувати інтелектуальне керування пуском і зупинкою «вторинних і резервних» насосів відповідно до ситуації споживання рідини на робочій поверхні. Інтелектуальна система керування може автоматично виявляти, відображати та контролювати всю систему в режимі реального часу.

(a)



(b)

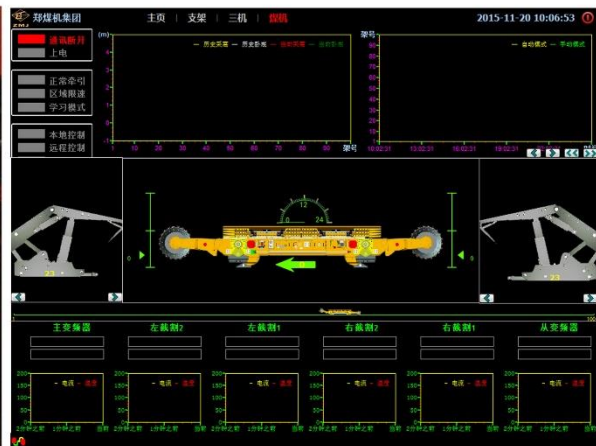


Рис. 7. Основне обладнання супроводу автоматичного виймання: (а) система відеоспостереження в лаві; (б) система дистанційного керування комбайном [23]

Дослідження з порівняння ефективності роботи між традиційними лавами та інтелектуальними повністю механізованими вибоями проведені Рен та іншими науковцями [23] на основі фактичного стану 108 робочих вибоїв.

Результати проведеного дослідження наступні. При традиційній (ручній) схемі керування в лаві потрібно 8 хвилин, щоб перемістити 10 мехсекції, і 1 хвилину, щоб опустити і розперти 10 мехсекції в той час як для переміщення 10 мехсекції в

інтелектуальному повністю механізованому вибою потрібно лише 3 хвилини, а для опускання та розпору потрібно лише 10 секунд. Таким чином ефективність у 2,8 рази перевищує ефективність традиційних лав.

Час переміщення секцій в лаві скорочується з 90 хв до 32 хв. У порівнянні з традиційним вибієм, час на переміщення секції скорочується на 64,8%. Кількість персоналу з обслуговування обладнання в ремонтну зміну скорочується з шести до трьох, а кількість ГРОВ в лаві зменшується з

восьми до двох, що дає суттєві результати у скороченні персоналу та підвищенні ефективності. Порівняно з традиційним вибоєм, кількість підземних робітників у інтелектуальному механізованому вибою становить лише п'ять, що становить 35,7% від традиційного вибою, що значно зменшує кількість підземних працівників. Місячна продуктивність повністю механізованих вугільних забоїв шахти Бінху становить 90 тис. тон, що в 1,8 рази перевищує традиційні вугільні забої. Порівнюючи суміжні традиційні вибою шахти, ми отримуємо чотири цикли щодня з метражем 0,7 м, а у повністю механізованих вибоях збільшується до семи циклів щодня з метражем 0,7 м. Зменшується час простою рухомих обладнання з 360 хв до 224 хв на добу, чистий машинний час видобутку вугілля збільшується з 480 хв до 840 хв, швидкість просування вибою збільшується більш ніж на 75%.

Такі результати дозволяють побачити очевидні переваги і перспективність механізованого виймання в інтелектуальних вибоях.

Висновки.

У даній роботі представлено аналіз сучасних трендів розвитку механізованого виймання тонких вугільних пластів. Узагальнення і синтез результатів аналізу дозволяють стверджувати, що вітчизняні технологічні схеми виймання тонких вугільних пластів в цілому відповідають світовим трендам. Елементи механізованих комплексів, переважно комбайнових, за своїми робочими характеристиками не поступаються світовим лідерам. Силові і кінематичні параметри обладнання механізованих комплексів цілком відповідає закордонним аналогам. Проте основним слабким місцем вітчизняної технології виймання тонких пластів є низький рівень автоматизації, і майже нульовий рівень впровадження технологій Mining 4.0. Хоч і є поодинокі випадки використання сучасного обладнання світового рівня, системи автоматизації і цифровізації, що в них використовуються залишаються не інтегрованими в єдину мережу. Перспектива ж ефективного, високопродуктивного і безпечного відпрацювання тонких вугільних пластів очевидно залежить від розвитку і

впровадження інтелектуальних систем механізованого виймання.

Список літератури

1. Cornot-Gandolphe S. Status of Global Coal Markets and Major Demand Trends in Key Regions. 2019.
2. Малашкевич Д.С., Петльований М.В., Постол Н.О., Постол М.О. Аналіз якості видобутого кам'яного вугілля та шляхи її підвищення на шахтах. *Наукові праці ДонНТУ*. 2022. №1(27)-2(28)
3. Тополов, В.С. Проблема топливно-энергетических ресурсов в мире и Украине / В.С. Тополов, А.А.Бортников, А.А. Ануфриенко и др. *Уголь Украины*. 2004. № 5. С. 3-11.
4. Coal Information 2017. Coal Information <https://doi.org/10.1787/coal-2017-en>
5. Tian Z., Zhang Z., Deng M., Yan S., Bai, J. Gob-Side Entry Retained with Soft Roof, Floor, and Seam in Thin Coal Seams: A Case Study. *Sustainability*. 2020. 12. 1197
6. Carl E. Zipper, Mary Beth Adams, and Jeff Skousen. The Appalachian Coalfield in Historical Context URL:https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/jrnl/2021/nrs_2021_zipper_001.pdf (Last accessed:10.01.2024)
7. Löföw J., Abrahamsson L., Johansson J. Mining 4.0-the impact of new technology from a work place perspective. *Mining Metall Explor*. 2019.36:701–707.
8. Akhramovich K., Serral E., Serral E., Cetina C. A systematic literature review on the application of process mining to Industry 4.0 January 2024 Knowledge and Information Systems DOI: 10.1007/s10115-023-02042-x.
9. Coal mine continuous miner MIKRUS series. URL: <https://www.directindustry.com/prod/famur/product-58723-2030812.html> (Last accessed: 10.01.2024).
10. Automated Plow Systems <https://www.empire-cat.com/sites/default/files/products/documents/C10427448.pdf> (Last accessed: 10.01.2024).
11. Continuous Miners <https://www.cbmining.com/products/underground-mining/room-pillar/continuous-miners.html> (Last accessed: 10.01.2024).
12. Ji H, Liu S. Position Deviation Control of Drilling Machine Using a Nonlinear Adaptive Backstepping Controller Based on a Disturbance Observer. *Processes*. 2021. 9(2):237. <https://doi.org/10.3390/pr9020237>
13. Wang J., Huang Z. The Recent Technological Development of Intelligent Mining in China. *Engineering*. 2017. 3. P.439–444.
14. Massinaei M., Jahedsaravani A., Taheri E., Khalilpour J. Machine vision based monitoring and analysis of a coal column flotation circuit. *Powder Technol*. 2018. 343. P.330–341.
15. Tian Y., Yang X., Yang J., Mao K., Yao Y., Liang H. Evolution Dynamic of Intelligent Construction Strategy of Coal Mine Enterprises in China. *Heliyon*. 2022. 8. e10933.
16. Shen Y., Li Y., Li Z. Application of Intelligent Inspection Robot in Coal Mine Industrial Heritage Landscape: Taking Wangshiwa Coal Mine as an Example. *Front. Neurorobot*. 2022. 16. 865146.
17. Yang Y., Zeng Q., Zhang Q. Analysis of Coal Gangue Recognition Capability Based on Vibration Characteristics of the Tail Beam and Experimental

- Study on Coal Gangue Recognition in Fully Mechanized Top Coal Caving. *Int. J. Coal Prep. Util.* 2023. 7. P.1–22.
18. Zadkov D., Gabov V., Babyr N., Stebnev A., Teremetskaya V. Adaptable and energy-efficient powered roof support unit. *Min. Inf. Anal. Bull.* 2022. 6. P.46–61.
 19. Wu X., Li H., Wang B., Zhu M. Review on Improvements to the Safety Level of Coal Mines by Applying Intelligent Coal Mining. *Sustainability*. 2022. 14. 16400.
 20. Huang X., Liu Y. Research and Design of Intelligent Mine Ventilation Construction Architecture. *Int. J. Low-Carbon Technol.* 2023. 17. 1232–1238.
 21. Bołoz, Ł. Mining of thin coal seams using surface-underground methods. *Min. Inform. Autom. Electr. Eng.* 2018. 56. P.47–52.
 22. Babyr N., Babyr K. To improve the contact adaptability of mechanical roof support. In *E3S Web of Conferences; EDP Sciences: Les Ulis, France*. 2021. Volume 266. P.03015.
 23. Ren B, Ding K, Wang L, Wang S, Jiang C, Guo J. Research on an Intelligent Mining Complete System of a Fully Mechanized Mining Face in Thin Coal Seam. *Sensors*. 2023. 23(22):9034. <https://doi.org/10.3390/s23229034>
 - <https://www.directindustry.com/prod/famur/product-58723-2030812.html>
 10. Automated Plow Systems. Retrieved from: <https://www.empire-cat.com/sites/default/files/products/documents/C10427448.pdf>.
 11. Continuous Miners. Retrieved from: <https://www.cbmining.com/products/underground-mining/room-pillar/continuous-miners.html>.
 12. Ji, H., Liu, S. (2021). Position Deviation Control of Drilling Machine Using a Nonlinear Adaptive Backstepping Controller Based on a Disturbance Observer. *Processes*, 9(2):237. <https://doi.org/10.3390/pr9020237>
 13. Wang, J., Huang, Z. (2017). The Recent Technological Development of Intelligent Mining in China. *Engineering*, 3, 439–444.
 14. Massinaei, M., Jahedsaravani, A., Taheri, E., Khalilpour, J. (2018). Machine vision based monitoring and analysis of a coal column flotation circuit. *Powder Technol*, 343, 330–341.
 15. Tian, Y., Yang, X., Yang, J., Mao, K., Yao, Y., Liang, H. (2022). Evolution Dynamic of Intelligent Construction Strategy of Coal Mine Enterprises in China. *Heliyon*, 8, e10933.
 16. Shen, Y., Li, Y., Li, Z. (2022). Application of Intelligent Inspection Robot in Coal Mine Industrial Heritage Landscape: Taking Wangshiwa Coal Mine as an Example. *Front. Neurobot*, 16, 865146.
 17. Yang, Y., Zeng, Q., Zhang, Q. (2023). Analysis of Coal Gangue Recognition Capability Based on Vibration Characteristics of the Tail Beam and Experimental Study on Coal Gangue Recognition in Fully Mechanized Top Coal Caving. *Int. J. Coal Prep. Util.* 7, 1–22.
 18. Zadkov, D., Gabov, V., Babyr, N., Stebnev, A. (2022). Teremetskaya, V. Adaptable and energy-efficient powered roof support unit. *Min. Inf. Anal. Bull.* 6, 46–61.
 19. Wu, X., Li, H., Wang, B., Zhu, M. (2022). Review on Improvements to the Safety Level of Coal Mines by Applying Intelligent Coal Mining. *Sustainability*. 14, 16400.
 20. Huang, X., Liu, Y. (2023). Research and Design of Intelligent Mine Ventilation Construction Architecture. *Int. J. Low-Carbon Technol.* 17, 1232–1238.
 21. Bołoz, Ł. (2018). Mining of thin coal seams using surface-underground methods. *Min. Inform. Autom. Electr. Eng.*, 56, 47–52.
 22. Babyr, N., Babyr, K. (2021). To improve the contact adaptability of mechanical roof support. In *E3S Web of Conferences; EDP Sciences: Les Ulis, France*, Volume 266, 03015.
 23. Ren, B., Ding, K., Wang, L., Wang, S., Jiang, C., Guo, J. (2023). Research on an Intelligent Mining Complete System of a Fully Mechanized Mining Face in Thin Coal Seam. *Sensors*. 23(22):9034. <https://doi.org/10.3390/s23229034>

References

1. Cornot-Gandolphe, S. (2019). Status of Global Coal Markets and Major Demand Trends in Key Regions.
2. Malashkevych D.S., Petlovanyi M.V., Postol N.O., Postol M.O. (2022). Analiz yakosti vydobutoho kamianoho vuhillia ta shliakhy yii pidvyshchennia na shakhtakh. *Naukovi pratsi DonNTU*, №1, (27)-2(28). (in Ukrainian).
3. Topolov, V.S. Bortnykov, A.A., Anufryenko, A.A. y dr (2004). Problema toplivno-energeticheskikh resursov v mire i Ukraine. *Uhol Ukrainy*, № 5, 3-11 (in russian).
4. Coal Information 2017. (2017). Coal Information <https://doi.org/10.1787/coal-2017-en>
5. Tian, Z.; Zhang, Z.; Deng, M.; Yan, S.; Bai, J. (2020). Gob-Side Entry Retained with Soft Roof, Floor, and Seam in Thin Coal Seams: A Case Study. *Sustainability*, 12, 1197
6. Carl E. Zipper, Mary Beth Adams, and Jeff Skousen. The Appalachian Coalfield in Historical Context. Retrieved from: https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/jrnl/2021/nrs_2021_zipper_001.pdf
7. Löw J, Abrahamsson L, Johansson J (2019) Mining 4.0- the impact of new technology from a work place perspective. *Mining Metall Explor* 36:701–707.
8. Akhramovich, K., Serral, E., Serral, E., Cetina, C. (2024). A systematic literature review on the application of process mining to Industry 4.0 January 2024 Knowledge and Information Systems. DOI: 10.1007/s10115-023-02042-x.
9. Coal mine continuous miner MIKRUS series. Retrieved from:

Надійшла до редакції 10.12.2023

Сахно Іван Георгійович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри розробки родовищ корисних копалин ДВНЗ «Донецький Національний технічний університет», м. Луцьк, Україна
E-mail: ivan.sakhno@donntu.edu.ua

Петренко Андрій Віталійович – асистент кафедри розробки родовищ корисних копалин ДВНЗ «Донецький Національний технічний університет», м. Луцьк, Україна
E-mail: andrii.petrenko@donntu.edu.ua

CURRENT TRENDS OF FULLY MECHANIZED THIN COAL SEAM MINING IN THE LIGHT OF THE MINING 4.0 CONCEPT

Purpose. Analysis of modern trends in the development of technologies for underground mining of thin coal seams in order to identify common features and trends that allow understanding the place of Ukrainian coal enterprises and the world context.

Methods. The work uses the method of engineering analysis, synthesis and generalization of information from various literary sources.

Findings. More than 70% of Ukrainian coal is located in seams with a thickness of 0.7-1.2 m. Coal mining in such seams is associated with limited working space, which restrains the intensification of coal mining in the traditional way. The gradual reduction of global coal reserves in thick and medium seams leads to a change in the focus of the development of underground coal mining strategies to seams with an average thickness of 0.8-1.3 m, which becomes key in the strategic plans for the production of various coal basins. At the same time, the general trend is unmanned mining methods with a focus on unmanned mining. Already traditional small-body equipment for extracting coal with manual control is being replaced by intelligent mining systems. The modern intelligent system of mechanized mining of thin coal seams includes an electro-hydraulic control system of the longwall support, an automatic coal cutting system and a video surveillance system for the shearer and an integrated fluid supply system and a remote centralized control system. The elements of this system are analyzed in detail in the paper.

Originality consists in establishing the general trend of the evolution of the technology of underground mining of thin coal seams by fully mechanized face.

Practical implication. Research results can be used in the selection and justification of technological schemes of longwall mining, strategic and operational planning of the development of coal enterprises that extract thin coal seams.

Keywords: Mining 4.0, Industry 4.0 in mining intelligent mining; thin coal seam mining; fully mechanized coal mining face.

Sakhno Ivan – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mining of mineral deposits, Donetsk National Technical University, Lutsk, Ukraine
E-mail: ivan.sakhno@donntu.edu.ua

Petrenko Andrii – assistant of the Department of Mining of mineral deposits, Donetsk National Technical University, Lutsk, Ukraine
E-mail: andrii.petrenko@donntu.edu.ua