

© Н.Д. Давіденко¹, О.О. Анісімов¹, П.Б. Саїк¹, М.С. Демидов¹¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ДО ПИТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБКИ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

© N. Davidenko¹, O. Anisimov¹, P. Saik¹, M. Demydov¹¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

ON THE TECHNOLOGY OF WASTE ROCK DUMP DEVELOPMENT IN COAL MINES

Мета. Аналіз, систематизація та візуалізація технологічних схем відпрацювання породних відвалів вугільних шахт з урахуванням типів та специфікацій гірничого обладнання.

Методика. Для досягнення поставленої мети застосовано комплексний підхід, що включає узагальнення сучасного стану формування породних відвалів та існуючих способів їх розробки. Візуалізація технологічних схем розробки породних відвалів вугільних шахт, відповідно до урахування комплексів механізації, передбачала застосування програмного продукту AutoCAD, що дозволяє провести геометризацию параметрів розробки відвалів з врахуванням оптимальних маршрутів переміщення гірничого обладнання та визначення найбільш ефективних площадок для його розміщення.

Результати. Проаналізовано різноманітні форми породних шахтних відвалів, що дозволило ідентифікувати їхні основні типи, особливості геометрії та методи формування. Отримані дані дозволили виявити особливості конфігурацій відвалів та запропонувати комплекс механізації для їх розробки. Виявлено, що основу для ефективної та безпечної розробки породних відвалів становлять сім технологічних схем, кожна з яких має як спільні, так і відмінні риси. Визначено, що застосування сучасного транспортного засобу з гусеничним ходом дозволяє долати більший ухил і з урахуванням обертання платформи кузова з кабіною навкруги базової ходової частини зменшити робочі майданчики.

Наукова новизна. Створена наукова класифікація технологічних схем за засобами комплексної механізації при розробці породних відвалів, що обумовлюються висотою відвалу, наявною технікою (при проектуванні технології), природними (географічними), кліматичними, геологічними умовами та основними параметрами відвалу.

Практичне значення. Запропоновано нову технологічну схему розробки породних відвалів, що передбачає використання гусеничних автосамоскидів, яка включає круті схили та крутий транспортний підйом. Розглянуто відпрацювання відвалів із застосуванням пошарової розробки різними технологічними схемами.

Ключові слова: шахтний відвал, технологічна схема, класифікація, породи.

Вступ. Аналіз сучасного стану розробки шахтних відвалів. Довготривалий промисловий розвиток гірничодобувних регіонів України сприяв формуванню численних шахтних відвалів. Ці відвали, також відомі як терикони або породні відвали, є результатом підземної розробки вугільних родовищ, що займають значні площі, радикально змінюючи природний рельєф та ландшафт регіонів [1, 2]. Їх накопичення негативно впливає на екосистему, зокрема, спричиняючи забруднення повітря пилом [3, 4], засолення ґрунтів та забруднення водою

важкими металами та іншими токсинами [5, 6]. Наявність породних відвалів також призводить до підвищення кислотності ґрунтів, що значно ускладнює можливості їх відновлення [7].

Залишки вугілля в середині відвалів часто призводять до їхнього самозаймання, що в свою чергу серйозно впливає на якість повітря в навколишніх районах через виділення шкідливих газів, таких як сірчистий газ і оксиди вуглецю. Самозаймання відвалів можуть тривати протягом багатьох років і в подальшому ускладняють процеси рекультивації та безпечного використання земель. Окрім забруднення повітря, самозаймання вугільних відвалів веде до формування провалів на місцях, де згоріли тверді вуглевмісні породи, що, у свою чергу, може спричинити зміни в формі та стійкості відвалу, створюючи потенційні небезпеки для місцевого населення та навколишньої інфраструктури [8–10]. Найбільш розповсюдженими районами, де відвали є загальнопоширеними, є Донецька, Дніпропетровська, Луганська області, Львівська та Волинська області.

Сьогодні заходи з ефективного управління відвалами потребують застосування комплексного підходу, який включає моніторинг температури відвалів для раннього виявлення ознак самозаймання, використання сучасних технологій та методів для їхньої рекультивації та переробки. Крім того, потрібно вживати заходів для мінімізації впливу цих процесів на довкілля, включаючи контроль за якістю повітря та здійснення озеленення територій для покращення екологічного стану. Тому на сьогодні, враховуючи негативний вплив відвалів на довкілля, необхідно розробляти та впроваджувати технології для їх ефективної переробки та повторного використання. Одним із таких напрямів є висаджування рослин, стійких до важких умов, а також застосування біотехнологій для очищення ґрунтів. Іншим перспективним варіантом є переробка порід з відвалів на будівельні матеріали та вилучення з них корисних копалин. Отже, проблема розширення сфери використання шахтних відвальних порід набуває особливої актуальності, а в умовах можливого дефіциту будівельних матеріалів, можуть стати будівельною сировиною, наприклад, у дорожньому будівництві. Такий комплексний підхід не тільки дозволить зменшити дефіцит будівельних матеріалів у гірничодобувних регіонах. Використання відвальних порід у будівельній галузі може значно знизити викиди вуглецю, оскільки процес їхньої переробки та використання вимагає менше енергії порівняно з видобутком і переробкою корисних копалин. Досвід застосування шахтних відвальних порід дозволяє вважати, що, за умови їхньої належної переробки, вони можуть бути ефективно використані як у конструктивних шарах дорожнього покриття, так і у інших областях будівництва. Особливо це стосується добре випалених шахтних горілих порід, які через свої фізико-механічні характеристики можуть слугувати як заповнювач [11, 12]. Завдяки високій міцності та зносостійкості, ці матеріали можуть бути використані не лише в дорожньому будівництві, але й у виробництві бетонних сумішей та виготовленні бруківки. Додатково, відвальні породи можуть знайти застосування в ландшафтному дизайні, наприклад, для створення декоративних кам'яних садів.

Виділення невирішених частин загальної проблеми. Для реалізації наявного потенціалу відвальних порід, наразі особливу увагу необхідно зосереджувати

на декількох ключових завданнях, зокрема на розробці енергоефективних технологій видобутку та переробки, а також на зниженні рівня пиловиділення під час переробки та транспортування. Оскільки породні відвали за своєю формою можуть мати різну форму, тому потрібно приділяти особливу увагу адаптації технологічних рішень до конкретних геометричних характеристик кожного відвалу.

Понад 50 % кількості відвалів Донецької обл. (314 шт.) мають конічну форму. На другому місці за кількістю (182 шт. або 30,4 %) знаходяться плоскі відвали, на третьому – відвали типу «усічений конус» – конічні відвали зі зрізаною верхівкою (102 шт. або 17,1 %). Площа під відвалами всіх типів 3533 га, сумарний обсяг – 1,045 млрд м³. Аналіз геометричних параметрів понад 650 породних відвалів вугільних шахт Донецької, Дніпропетровської, Львівської та Волинської областей дав змогу встановити, що найпоширенішою їхньою формою є плоска і конусна (по 38 % від загального числа), усічені конічні – становлять 24 %. Середні значення висот конічних, усічених і плоских відвалів становлять 45, 37 і 36 м; середній об'єм породи в них – 0,5; 1,1 і 2,1 млн т; середня площа, яку вони займають – 4,4; 7,6 і 46 га відповідно [7, 13–15]. На рис. 1 наведено дані щодо кількості відвалів, загальної площі та обсягів відходів у межах Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну.

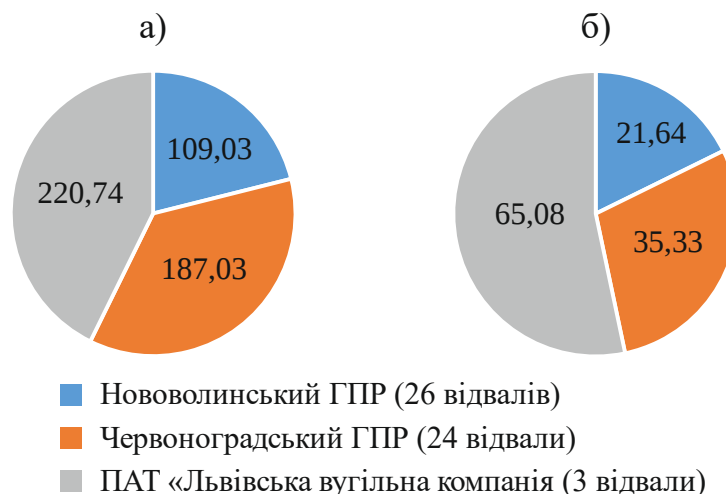


Рис.1. Загальна характеристика накопичених породних відвалів у Львівсько-Волинському кам'яновугільному басейні: а – площа, га; б – обсяг відходів, млн м³ (розроблено авторами на основі аналізу [15])

Нині значна частина досліджень, що пов'язано з породними відвалами, направлена на переробку та вторинне використання вилученої породи з метою забезпечення екологічної сталості та зменшення впливу на довкілля. При тому, першочерговим кроком для розробки породних відвалів є вибір технологічних схем з механізації гірничих робіт, на що і направлені дослідження за даною роботою, що забезпечать ефективність та безпеку виробничих процесів.

Таким чином, **метою роботи** є аналіз, систематизація та візуалізація технологічних схем відпрацювання породних відвалів вугільних шахт з урахуванням типів та специфікацій гірничого обладнання.

Виклад основного матеріалу. Для ефективного управління розробкою породних відвалів, враховуючи їх різноманітні конфігурації – конусний, хребтовий, секторний, та наливний – важливим є вибір оптимального комплексу з механізації гірничих робіт, що відповідає конкретному типу відвалу та його фізичним характеристикам. Оптимізація процесів видобутку порід в межах відвалів включає застосування технологічних схем за такою технікою: екскаватор-автосамоскид; бульдозер; скрепер; бульдозер-екскаватор-автосамоскид; екскаватор-вал охолодження-екскаватор-автосамоскид (човникова схема); гідромонітор-земснаряд-гідротранспорт; екскаватор-гусеничний автосамоскид.

Відпрацювання конічного техногенного родовища можливо тільки зверху до низу. З урахуванням кута підйому у 19° , та відсутності майданчику для розміщення виймально-навантажувального обладнання необхідно створити такий майданчик. Для його створення конічну форму відвалу потрібно переформатувати до усіченого (рис. 2).

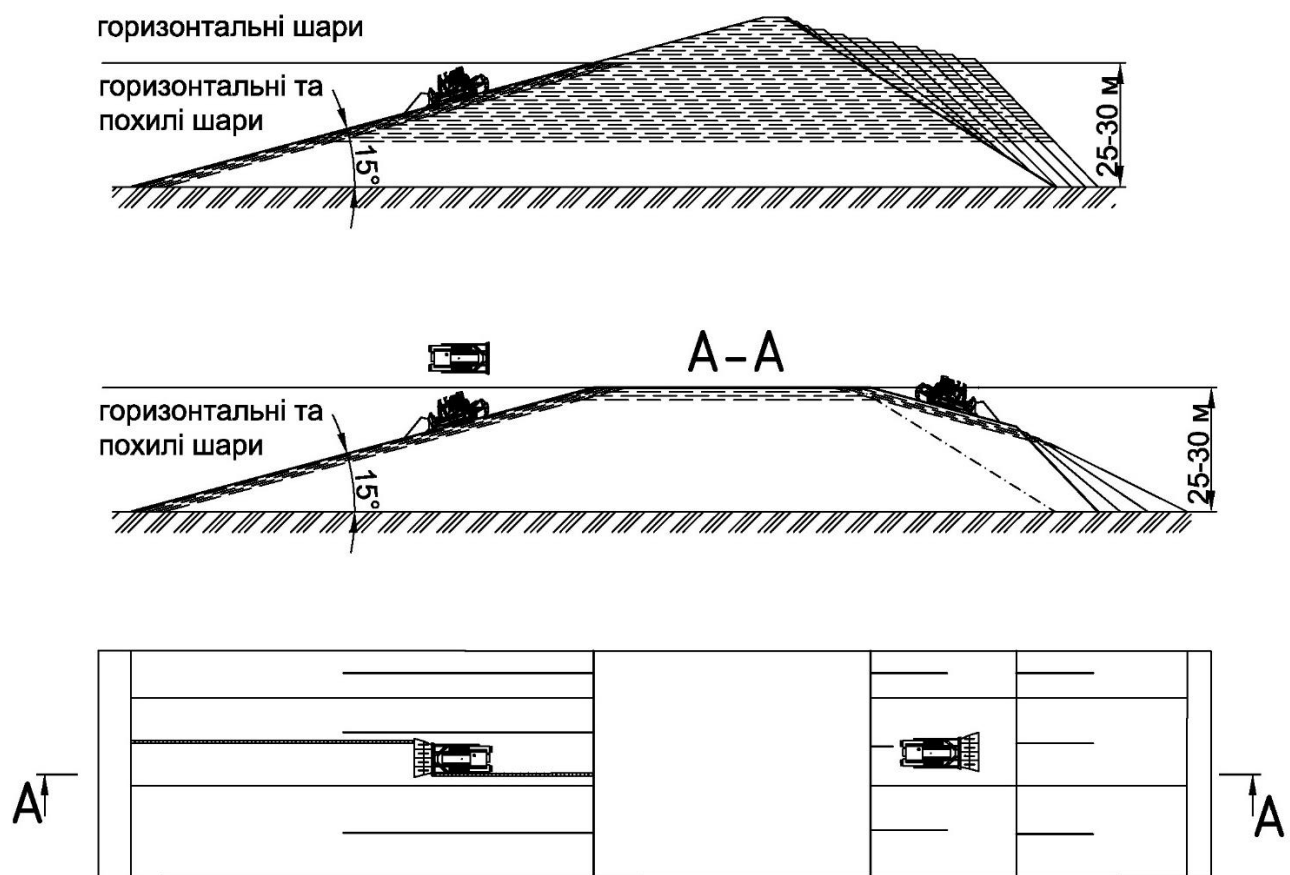


Рис. 2. Технологічна схема розробки шахтного відвалу з використанням бульдозерів

Заїзд на верхню частину можливо тільки бульдозером, який може долати подібний кут. Використовуючи бульдозер пошарово зрізають поверхню з утворенням майданчику з розмірами достатніми для розміщення обладнання, або достатніх параметрів щоб можна було побудувати дорогу.

Побудова дороги здійснюється з менш крутого укосу, вздовж скату укосу відвалу з використанням екскаватору, який виймає породи та розміщує їх під укіс. Дорога створюється односмугова з урахуванням робочих параметрів екскаватора (рис. 3).

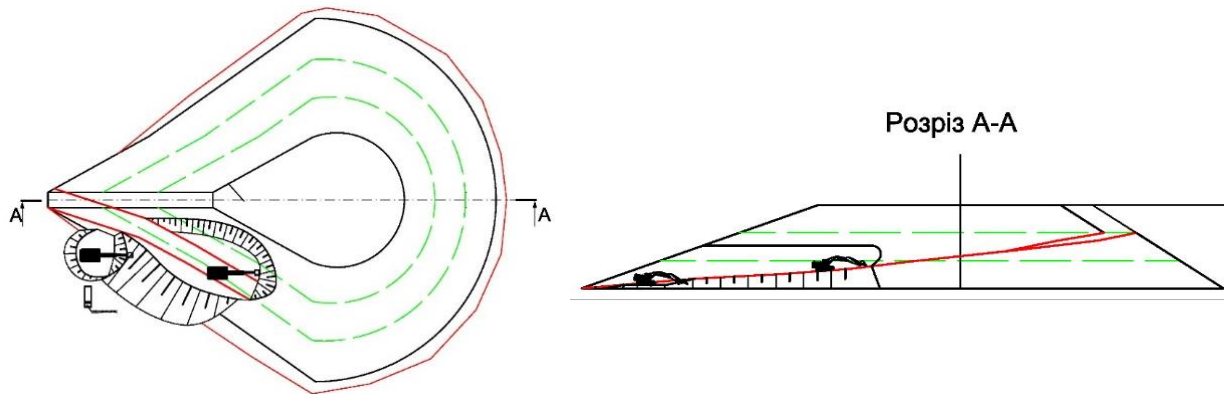


Рис. 3. Технологічна схема розробки шахтного відвалу з використанням екскаватора, автосамоскидів

Іншим варіантом розробки відвалу є перевалка порід з верхньої частини терикону екскаватором на нижній майданчик з подальшим прибиранням нижньої частини екскаватором, що рухається на відстані не менш 2 радіусів розвантаження ковшу від попереднього (рис. 4). Така схема поліпшує роботу автотранспорту. Завантаження автосамоскидів здійснюється фактично на нижньому майданчику. До певної пори немає необхідності автосамоскидам виїжджати на з'їзд терикону і там маневрувати. Всі маневри автосамоскиду відбуваються у підніжжі відвалу.

Відповідно до [16] розбирання відвалу бульдозерами здійснюється горизонтальними шарами. Після зниження відвалу до висоти 25–30 м дозволяється розбирати похилими шарами (до 15°). Завантаження породи у транспортні засоби здійснюється бульдозерами у сполученні з незатворними бункерами, естакадами та за допомогою екскаваторів. Видобуток, транспортування, завантаження та складування породи дозволяється самохідними та причіпними скреперами (рис. 3). Існує певне обмеження щодо висоти окремих уступів відвалу порід з вугільними залишками при розбиранні за допомогою екскаваторів. При застосуванні екскаваторів висота уступів не повинна бути більша ніж 4 м. При комбінованому способі розбирання породних відвалів після пошарового зниження бульдозером до висоти, на яку може бути споруджено в'їзну дорогу, подальше розбирання здійснюється екскаватором із безпосереднім завантаженням породи у транспортні засоби. При тому для захисту прилеглої до породного відвалу території від зливових потоків, що стікають з укосів по контуру зони впливу відвалу відсипається дамба висотою до 2 м. Також між дамбою та нижнім контуром відвалу формується водовідвідна канава для дренажу атмосферних вод, яка надходить з укосів відвалу і перехоплення води зовні відвала, яка може порушити стійкість самого відвалу.

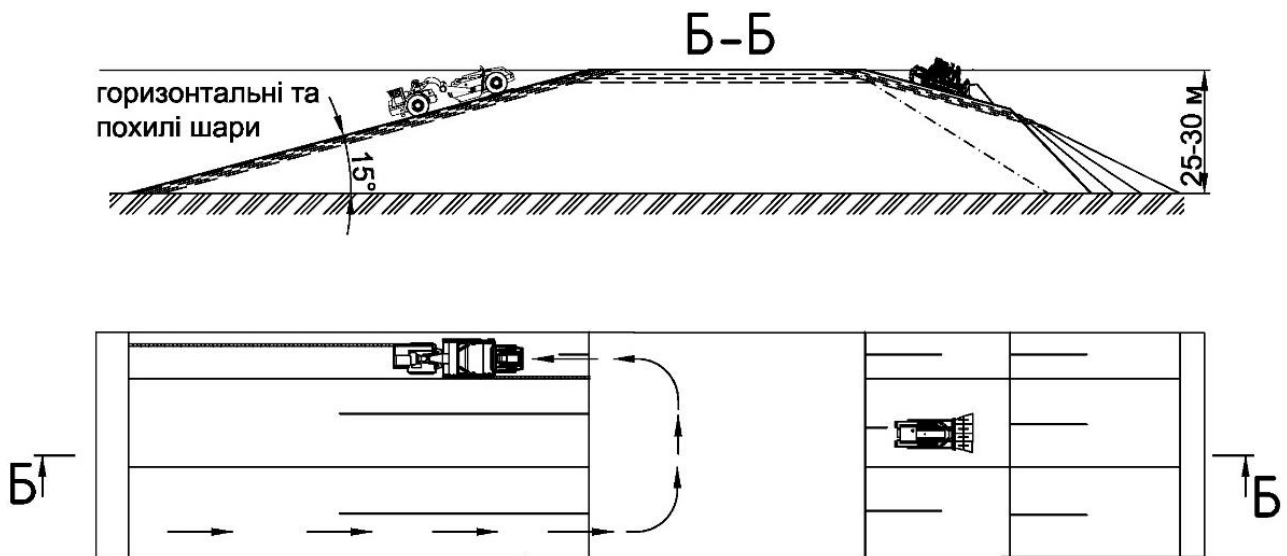


Рис. 4. Технологічна схема розробки шахтного відвалу з використанням скреперу

Під час розробки шахтних відвалів, що розміщені поряд з вугільними родовищами відбувається охолодження нагрітих порід та зменшення висоти (рис. 5).

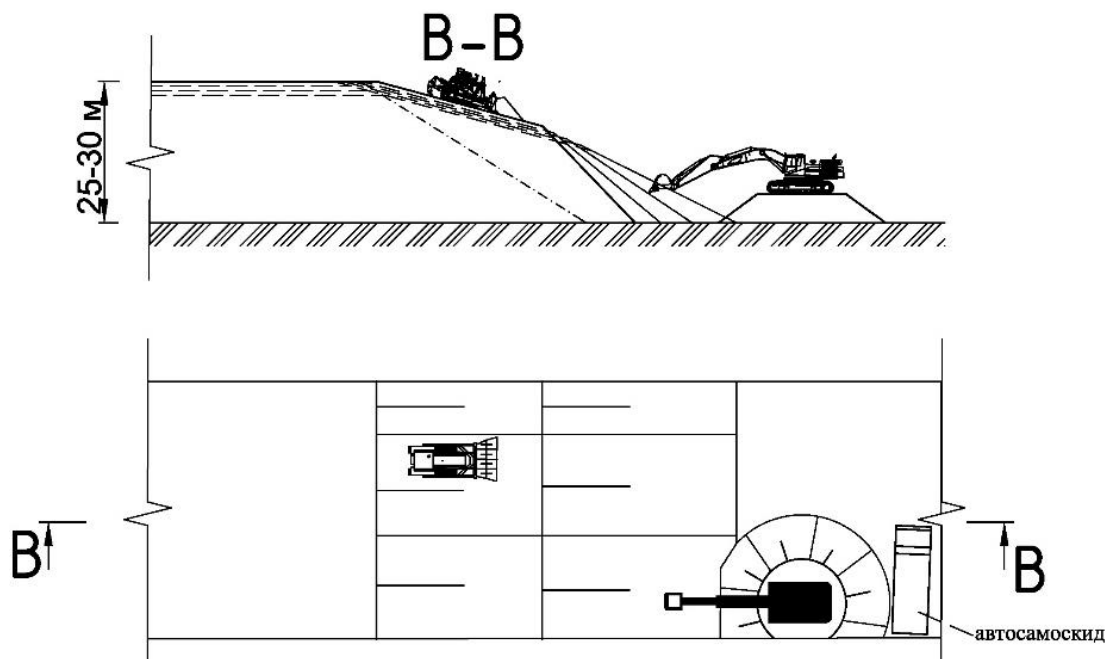


Рис. 5. Технологічна схема розробки шахтного відвалу з використанням схеми бульдозер-екскаватор-автосамоскид

На діючих та сформованих відвалах, які схильні до самозаймання, здійснюються виміри температури. Такі виміри проводяться три рази на рік (основними місяцями коли треба приділяти більше уваги є – травень, липень, вересень). Температура вуглецевмісних порід, що переміщуються бульдозером або розбираються екскаватором, не повинна перевищувати 80 °C (рис. 6).

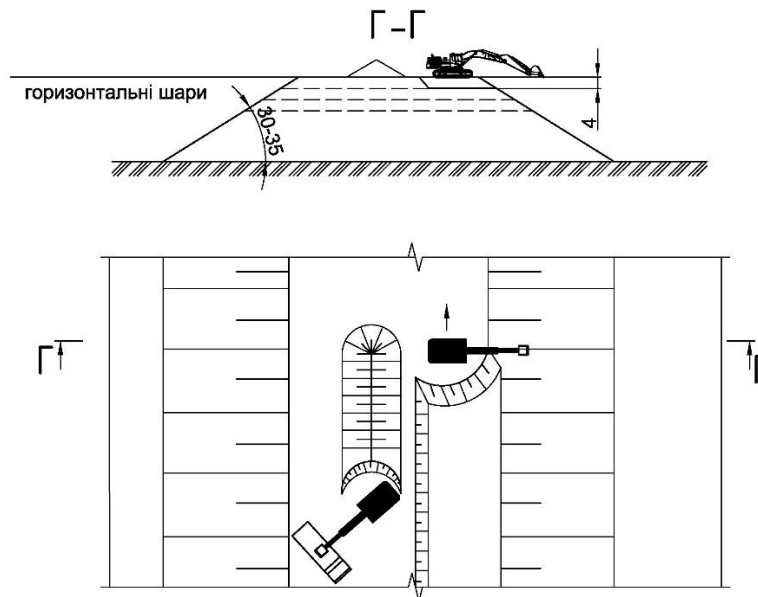


Рис. 6. Технологічна схема розробки шахтного відвалу з використанням схеми екскаватор-вал охолодження-екскаватор-автосамоскид

У регіонах, де доступна достатня кількість води, ефективним є використання гідромеханізованої технології для розробки відвалів. Цей метод включає транспортування пульпи за допомогою гідротранспорту, що сприяє зниженню ризиків самозаймання та значно зменшує виділення пилу під час вилучення та навантаження породи. Такий підхід не тільки покращує безпеку робіт, але й забезпечує більш екологічний спосіб обробки та переміщення порід, зменшуючи вплив на навколишнє середовище (рис. 7).

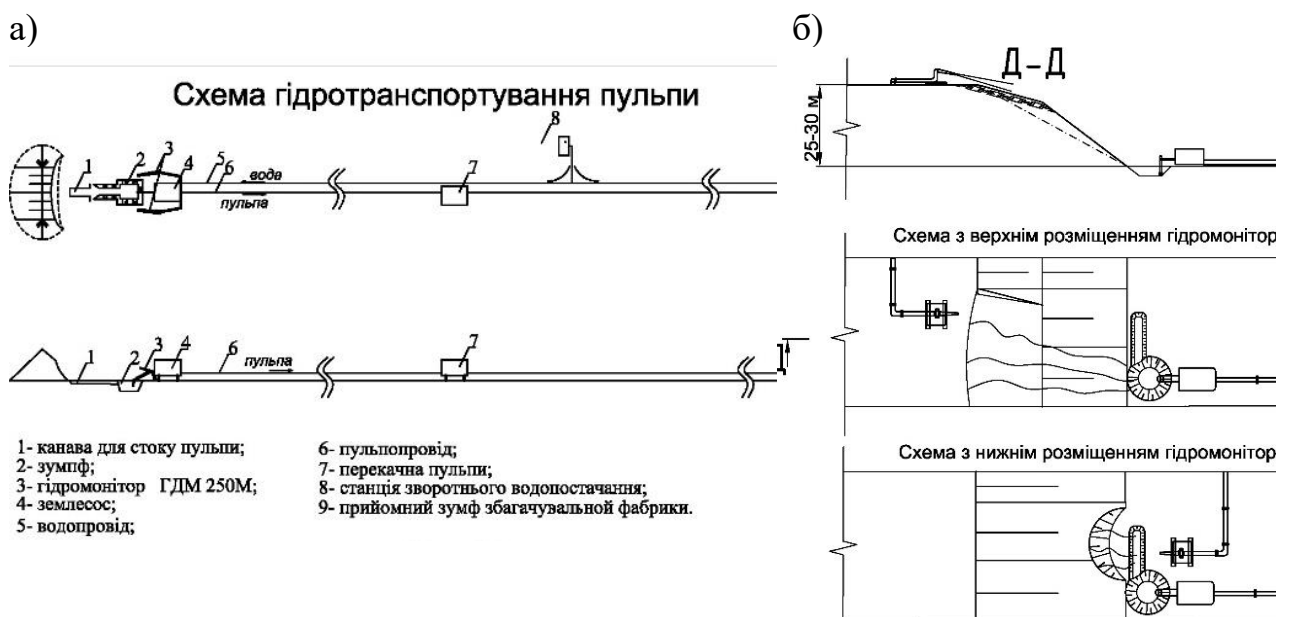


Рис. 7. Технологічна схема розробки шахтного відвалу з використанням схеми гідромонітор-земснаряд-гідротранспорт: а – схема гідротранспортування пульпи; б – технологічні схеми відпрацювання з верхнім та нижнім розміщенням гідромонітору

Використання сучасного транспортного обладнання, такого як гусеничний автосамоскид, дозволяє збільшити ухил траси відвалу і обмежити майданчик, де відбувається завантаження породи. Гусенична ходова частина дозволяє долати значні ухили, а відповідно зменшується довжина траси на відвалі. Зчеплення гусениць з породами відбувається на більшій площі, що дає можливість їх використання у негоду (дощ, сніг, ожеледиця) і дозволяє збільшити долаємий ухил. Робота гусеничного транспорту більш безпечна ніж при використанні колісного транспорту [17].

Додатковою перевагою гусеничного самоскиду є його принцип роботи, пов'язаний з поворотною платформою кузова та кабіни (рис. 8). Машина виїжджаючи на відвал обертає платформу на осі без розвороту ходової частини. Човникова схема під'їзду без розворотів біля екскаватору дозволяє виключити час на маневри, та технологічно зменшує робочі майданчики, де працюють екскаватори.

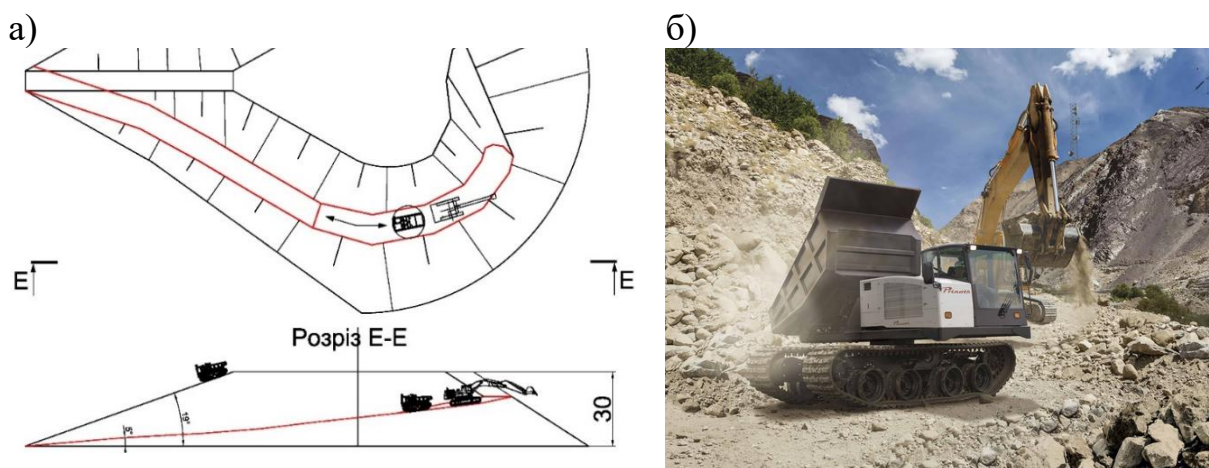


Рис. 8. Технологічна схема розробки шахтного відвалу з використанням схеми екскаватор-гусеничний автосамоскид (човниковий рух транспорту): а – схема створення траси на відвалі; б – робота гусеничного самоскиду з повноповоротною платформою в складних умовах

Гусеничні автосамоскиди за тяговими властивостями двигунів з урахуванням площі опори та тиску на ґрунт, придатні для роботи в гірській, болотяній місцевості або в ґрунтах, що розмокають (глини) і робить такі машини універсальними. Залежності від сформованого кута шахтного відвалу їх можна використати безпосередньо переміщуючи по трасі скіпового або конвеєрного підйомника при розбиранні складів або шахтних відвалів.

Дослідження технологічних схем розробки породних відвалів підтвердили, що адекватний вибір технологічних схем механізації гірничих робіт має вирішальне значення для ефективності та безпеки процесів. Зокрема, бульдозери використовуються для заїзду на верхню частину відвалу, де вони можуть ефективно долати круті укоси. Для формування доріг на менш крутих схилах застосовують екскаватори, які виймають породу, створюючи дороги з однією смугою, які є достатньо широкі для розміщення обладнання. Відповідно до

інструкції НПАОП 10.0-5.21-04, розбирання відвалів здійснюється бульдозерами горизонтальними шарами до висоти 25–30 метрів, після чого можливе розбирання похилими шарами до 15°. Використання скреперів та гідромеханізованих систем, таких як гідромонітор-земснаряд-гідротранспорт, дозволяє мінімізувати ризики самозаймання і знижує викиди пилу. Для захисту прилеглих територій від зливових потоків створюються дамби та водовідвідні канами, що забезпечують ефективний дренаж. Періодичні вимірювання температури вуглецевмісних порід важливі для моніторингу їхнього стану і запобігання самозапалення. Гусеничні автосамоскиди використовуються для ефективного переміщення порід по крутих схилах, їх конструкція з поворотною платформою забезпечує швидке і безпечне завантаження порід, уникаючи зайвих маневрів. Це значно підвищує ефективність та безпеку транспортування матеріалів на гірничих відвалах.

Висновки. Технологічні схеми, розглянуті у контексті відпрацювання породних відвалів на гірничих підприємствах, відіграють ключову роль у значному покращенні екологічного стану навколишнього середовища. Застосування цих методів не тільки сприяє зменшенню впливу на довкілля, але й дозволяє ефективно повторно вилучати корисні компоненти з відходів. Це забезпечує важливу можливість рециклінгу ресурсів та зниження загальних витрат на видобуток сировини. Розробка і вдосконалення технологічних схем для роботи з породними відвалами є актуальним і значущим питанням, що вимагає подальших досліджень і інноваційних підходів для оптимізації використання природних ресурсів.

У роботі детально проаналізовано сім технологічних схем, кожна з яких використовує різні методики і обладнання для відпрацювання шахтних відвалів. Раціональність застосування схеми залежить від багатьох факторів: розмірів відвалу; наявного обладнання; необхідної продуктивності з виймання порід; стану техногенних шахтних відвалів (палачі, непалаючі, діючі, недіючі); фізико-механічних властивостей порід, які укладені у відвал; наявності геологічних порушень поруч з відвалом; житлових забудов та господарчих будівель; визначеності місць для складування порід після переробки на збагачувальній фабриці (можливість складування поряд з техногенним родовищем або на ньому з визначенням місць виймання і місць складування) тощо.

Вдячність. Представлені результати отримані у рамках виконання науково-дослідної роботи «Науково-практичні засади структурних трансформацій вугледобувних підприємств на основі інноваційних технологій раціонального природокористування» (№ держреєстрації 0122U001301).

Перелік посилань

1. Панасюк, Я.І., Маліков, В.В., & Талах, Л.О. (2019). Фізико-механічні властивості відвальних горілих шахтних порід для дорожнього будівництва. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 11, 99–106. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-1\(11\)-12](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-1(11)-12)
2. Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., & Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining

- industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24–38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>
3. Зубов, А.О. (2019). Екологічна небезпека породних вугільних відвалів у агроландшафтах. *Агроекологічний журнал*, (2), 16–22.
 4. Попович, В.В., & Піндер, В.Ф. (2016). Горіння териконів як ландшафтно-трансформуючий чинник зростання регіональної екологічної небезпеки. *Збірник наукових праць. Пожежна безпека*, 29, 116–124.
 5. Bosak, P.V., & Stokalyuk, O.V. (2022). Моделювання поширення забруднюючих речовин у довкілля з породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, 26, 5–13. <https://doi.org/10.32447/20784643.26.2022.01>
 6. Punia, A., & Singh, S. K. (2021). Contamination of water resources in the mining region. *Contamination of Water*, 3–17. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-824058-8.00015-3>
 7. Петльований, М.В., & Гайдай, О.А. (2017). Аналіз накопичення і систематизація породних відвалів вугільних шахт, перспективи їх розробки. *Геотехнічна механіка*, 136, 147 – 158.
 8. Попович, В.В. (2009). Характеристика осередків самозаймання породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового регіону. *Науковий вісник НЛТУ України*, 19(12), 77–82.
 9. Chobotko, I. (2022). Justification of methods and techniques for the elimination of self-disposal of mining waste. *Journal of Donetsk Mining Institute*, 1, 166–171. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2022-1-166-171>
 10. Стефанович, Л.І., & Фельдман, Е.П. (2023). Кінетика самонагрівання вуглепородних відвалів. *Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва*, 25, 31–41. <https://doi.org/10.37101/ftpgv25.01.003>
 11. Глушко, І.О., & Костенко, В.К. (2021). Створення композитних матеріалів на основі відвальних мас та донних відкладень. *Проблеми екології*, 1, 39–44. <https://doi.org/10.31474/2073-8102-2021-1-39-44>
 12. Вагонова, О.Г., & Чернобаєв, В.В. (2022). Експлуатація техногенних родовищ як напрям підвищення економічної ефективності роботи підприємств. *Економічний простір*, (179), 44–49. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/179-7>
 13. Ковальчук, М.С., & Крошко, Ю.В. (2021). Паспортизація породних відвалів вуглевидобувних територій – основа створення їх ГІС-системи та оцінки впливу на довкілля. *Гірнича геологія та геоecологія*, 1(2), 35–51.
 14. Ivanov, Ye. A., & Kovalchuk, I. P. (2024). Accumulation of mining wastes in the Lviv-Volyn coal basin: current conditions, problems and perspectives of management. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, 7, 75–84. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.8>
 15. Зубов А.О., & Зубов О.Р. (2022). Типологія, морфометрія і кількість породних відвалів вугільних шахт в Україні. *Екологічні науки*, 4(43), 79–87. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.13>
 16. НПАОП 10.0-5.21-04 (2007). *Інструкція із запобігання самозапалюванню, гасіння та розбирання породних відвалів*. Стандарт Мінвуглепрому України.
 17. Давіденко, Н.Д., & Анісімов, О.О. (2024). Дослідження зміни довжини транспортування гірничої маси при поглибленні кар'єру з застосуванням крутопохилих траншей. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, 76, 42–50. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/76.042>

ABSTRACT

Purpose. Analysis, systematization, and visualization of technological schemes for developing waste rock dumps in coal mines, considering the types and specifications of mining equipment.

Methodology. To achieve the stated objective, a comprehensive approach was applied, which included summarizing the current state of waste rock dump formation and existing methods for their development. The visualization of technological schemes for developing coal mine waste rock dumps, considering mechanization complexes, involved using the AutoCAD software, enabling the geometrization of dump development parameters, optimization of mining equipment movement routes, and identification of the most efficient sites for its placement.

Results. Various forms of mine waste rock dumps were analyzed, allowing for the identification of their main types, geometric characteristics, and formation methods. The obtained data made it possible to determine the specific configurations of the dumps and propose a mechanization complex for their development. It was found that the foundation for the efficient and safe development of waste rock dumps consists of seven technological schemes, each having both common and distinctive features. It was determined that using modern tracked transport vehicles allows for overcoming steeper slopes. Additionally, considering the rotation of the dump body platform with the cabin around the base chassis, it is possible to reduce the required working platforms.

Originality. A scientific classification of technological schemes has been developed based on comprehensive mechanization tools for reclamation waste dumps. This classification is determined by the dump height, available equipment (when designing the technology), natural (geographical), climatic, and geological conditions, as well as the main parameters of the dump.

Practical implications. A new technological scheme for waste rock dump development was proposed, involving the use of tracked dump trucks, which allows for the operation of steep slopes and a steep transport incline. The study examined the staged development of dumps using various technological schemes.

Keywords: *mine waste rock dump, technological scheme, classification, waste rock.*