

© О.О. Анісімов¹, П.Б. Саїк¹, Н.Д. Демидова¹, К.С. Сай¹

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ДО ПИТАННЯ СИСТЕМАТИЗАЦІЇ СХЕМ РОЗРОБКИ ВІДХОДІВ ВУГЛЕВИДОБУТКУ

O. Anisimov¹, <https://orcid.org/0000-0001-8286-7625>

P. Saik¹, <https://orcid.org/0000-0001-7758-1083>

N. Demydova¹, <https://orcid.org/0000-0001-8286-7625>

K. Sai¹, <https://orcid.org/0000-0003-1488-3230>

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

TOWARDS THE SYSTEMATIZATION OF MINING SCHEMES FOR COAL MINING WASTE DUMPS

Мета. Наукове обґрунтування підходів до систематизації та класифікації технологічних схем розробки вуглевмісних відвалів з урахуванням їх морфологічних характеристик, параметрів транспортних комунікацій, особливостей формування вантажопотоків і розвитку фронту гірничих робіт.

Методика дослідження ґрунтується на комплексному аналізі наукових джерел, морфологічних, геометричних і технологічних характеристик породних відвалів, застосуванні методів порівняльного аналізу, систематизації, класифікації, логічного узагальнення та графічного моделювання технологічних схем із використанням програмного забезпечення AutoCAD.

Результати. Узагальнено основні типи породних відвалів вуглевидобувних підприємств та виконано їх систематизацію за морфологічними й технологічними ознаками. Розроблено класифікацію технологічних схем їх освоєння з урахуванням форми відвалів, транспортних комунікацій, конфігурації трас, умов формування вантажопотоків і розвитку фронту гірничих робіт. Запропоновано структурно-логічну схему взаємозв'язку класифікаційних ознак, що забезпечує обґрунтований вибір раціональних технологічних рішень для розробки породних відвалів.

Наукова новизна. Уперше запропоновано комплексний підхід до систематизації та класифікації технологічних схем розробки вуглевмісних породних відвалів, який, на відміну від існуючих, одночасно враховує морфологічні особливості відвалів, параметри транспортних комунікацій, закономірності формування вантажопотоків, характер розвитку фронту гірничих робіт, а також гірничо-технічні, безпекові й екологічні фактори, що визначають умови їх ефективного освоєння.

Практична значимість отриманих результатів полягає у створенні науково-обґрунтованого інструментарію для вибору технологічних схем розробки породних відвалів вуглевидобувних підприємств. Запропоновані підходи можуть бути використані під час проектування гірничих робіт, визначення пріоритетності освоєння техногенних накопичень, підвищення ефективності використання вторинної мінеральної та енергетичної сировини, а також мінімізації техногенного впливу на навколишнє середовище.

Ключові слова: породний відвал, вуглевидобувне підприємство, техногенні ресурси, схеми розробки, класифікація, транспортні комунікації, вантажопотоки, фронт гірничих робіт.

Вступ. Підземна розробка вугільних родовищ супроводжується вилученням на поверхню не лише кам'яного вугілля, а й значних обсягів супутньої гірничої маси. Унаслідок ведення підготовчих і очисних робіт утворюються відходи гірничого виробництва, представлені породами покрівлі та підшви, а також некондиційними вугільними прошарками, які не відповідають вимогам до товарної продукції. У більшості випадків супутня гірнича маса транспортується на поверхню з подальшим її складуванням у породних відвалах, унаслідок чого формуються значні техногенні накопичення, ресурсний потенціал яких тривалий час залишається нерелізованим, одночасно посилюючи екологічне навантаження на довкілля.

Формування породних відвалів вуглевидобувних підприємств, зокрема териконів, перш за все, зумовлене технологічними особливостями підземного видобутку та літологічною неоднорідністю гірського масиву, що вміщує вугільний пласт. До їх складу входять супутні породи, які відрізняються фізико-механічними властивостями, гранулометричним складом, якісним та кількісним вмістом вуглецю. Зокрема, міцні пісковики після видобутку представлені переважно крупнокусковим матеріалом, тоді як аргіліти та алевроліти характеризуються переважанням фракцій середньої крупності (0–300 мм). Водночас унаслідок проведення підготовчих та очисних робіт до породної маси потрапляють також вуглевмісні прошарки та некондиційне вугілля, що формує за речовинним складом техногенний матеріал із потенціалом подальшого комплексного енергетичного використання.

Аналіз попередніх досліджень. За результатами аналізу наукових досліджень [1–3] встановлено, що під час підземного видобутку кам'яного вугілля на поверхню поряд із корисною копалиною, у середньому, надходить близько 0,3–0,4 т супутньої гірничої маси на 1 т видобутого вугілля, при цьому залежно від гірничо-геологічних умов частка супутніх порід може становити до 30 % від загального обсягу видобутої гірничої маси. Це зумовлює постійне накопичення значних обсягів відходів гірничого виробництва та формування масштабних техногенних родовищ. У сучасних умовах такі техногенні об'єкти розглядаються не лише як джерело екологічних ризиків, але й як перспективна сировинна база, що містить мінеральні та енергетичні компоненти, придатні для повторного освоєння [4]. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розроблення технологічних рішень, спрямованих на комплексне використання породних відвалів із залученням їх до господарського обігу як джерела вторинної мінеральної та енергетичної сировини. Тому відвали гірничих підприємств є предметом численних досліджень у галузях гірництва, екології та природокористування. Значна кількість наукових праць присвячена питанням їх класифікації, типізації, оцінці фізико-хімічних властивостей, а також аналізу екологічних і техногенних наслідків тривалого складування породної маси [5–7].

За результатами проведених численних досліджень встановлено, що внаслідок діяльності шахт і вуглезбагачувальних фабрик на території Донецької та Луганської областей сформовано близько 1185 териконів і породних відвалів [8], тоді як у Львівсько-Волинському вугільному басейні їх кількість становить

близько 55 із сумарним обсягом понад 80–100 млн м³ породної маси [9, 10]. Основні скупчення породних відвалів вуглевидобувних підприємств України приурочені до Павлоградського, Добропільського, Покровського, Вугледарського, Торецького, Лисичанського, Червоноградського та Нововолинського гірничопромислових районів.

Концентрація значних обсягів породної маси в межах цих територій призводить до суттєвої зміни природних ландшафтів та розвитку небезпечних геодинамічних і фізико-хімічних процесів. Найбільш характерними з них є самонагрівання та самозаймання відвалів, пиловиділення, а також забруднення атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод та ґрунтового покриву [11–13].

Формування породних відвалів здійснюється відповідно до прийнятої технологічної схеми роботи гірничого підприємства з урахуванням розташування місць видачі породи на поверхню, що забезпечує мінімізацію транспортних витрат і підвищення ефективності процесу складування. Характерним прикладом є Червоноградський гірничопромисловий регіон, де експлуатувалося та експлуатується загалом 24 породні відвали площею від 9 до 30 га та максимальною висотою до 62 м, при цьому для більшості з них характерна висота в межах 25–40 м. Типові значення кута укосу становлять 37–45°, однак у зонах розвитку ерозійних і зсувних процесів цей показник може зростати до 70–80°, що пов'язано з необхідністю скорочення площ земель, вилучених із господарського використання. Загальна площа, зайнята породними відвалами регіону, перевищує 1 тис га, а сумарний обсяг накопиченої породної маси на діючих шахтах становить понад 20 млн м³. Для окремих гірничих підприємств характерна наявність двох або трьох відвалів, сформованих у різні періоди експлуатації, що зумовлює їх істотні морфологічні відмінності.

Типологія териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну ґрунтується на багаторівневій ієрархічній системі, що включає вісім класифікаційних рівнів [14]. Такий підхід забезпечує систематизацію техногенних ландшафтів за ступенем їх порушення та рівнем проведення рекультиваційних заходів. За розмірами терикони поділяються на три категорії: великі (площа понад 10 га), середні (5–10 га) та малі (0,3–5 га). За формою вони можуть бути правильною або неправильною конфігурації. Порушення геометричної форми териконів, як правило, зумовлене вийманням породи для будівельних потреб.

У роботі [15] відображено особливості розташування териконів відносно рельєфу місцевості – в низині, на рівнині, на височині, на схилі, що є важливим при формуванні схем відпрацювання відвалів. В роботі [166] наведено показники відвалів за даними ДП «Волинськвугілля» та териконів ліквідованих шахт у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну які мають певні пожежні умови і з плином часу за параметрами збільшуються геометрично. В дослідженні наведені стан, розміри окремих відвалів у межах Львівсько-Волинського вугільного басейну. У результаті проведених досліджень встановлено, що на території Львівсько-Волинського вугільного басейну функціонують 4 типи териконів – що горять, згасаючі, згаслі, що не горять.

Ще один вид типології відвалів запропоновано в роботах [17**Error! Reference source not found.**, 18]. Відмічено, на сьогоднішній день розроблено чимало

критеріїв, за якими здійснюється типологія. Існують різні типи відвалів з урахуванням різних ознак: геометричних розмірів, морфології, теплового стану. За висотою породні відвали доцільно класифікувати на об'єкти з висотою 0–30 м, 3–50 м, 50–90 м, понад 90 м. За ступенем розвитку схилових і водно-ерозійних процесів породні відвали доцільно класифікувати на: з незначним, середнім та інтенсивним розвитком. Запропоновано здійснювати паспортизацію породного відвалу з відповідними даними, що в певній мірі дозволяє визначати схему розробки вуглевмісних відходів.

У роботі [19] апробовано методичний підхід, що передбачає встановлення залежностей між основними морфометричними показниками відвалів, які можуть бути використані для їх спрощеного визначення та подальшого дослідження як у вугледобувній галузі, так і на інших гірничих підприємствах України. Зокрема, для конічних і усічених відвалів Луганської області встановлено лінійні залежності між шириною та довжиною для конічних відвалів – $B_k = 0,743L$, для усічених – $B_{yc} = 0,725L$, при коефіцієнтах детермінації $R^2 = 0,85$ та $R^2 = 0,72$ відповідно.

Середні значення довжини осі відвалів для різних форм становлять для конічних – 216,5 м, усічених – 227,5 м, плоских – 419,5 м; відповідні значення ширини осі – 158,5; 166,1 та 269,5 м. Середні значення висоти відвалів складають 47,4 м для конічних, 30,5 м для усічених і 35,5 м для плоских відвалів.

Наведені узагальнені морфометричні показники можуть бути використані як основа для систематизації відвалів та обґрунтування підходів до вибору технологічних схем їх подальшої розробки. Спосіб складування порід суттєво визначає можливості та вибір технологічних схем відпрацювання вугільних відвалів та транспортування гірничої маси [20]. Зазначається, що на вугільних шахтах формуються відвали, облаштовані рейковими коліями, канатними, автомобільними та залізничними шляхами, а також відвали, утворені із застосуванням стрічкових конвеєрів і гідротранспорту.

На шахтних відвалах Донбасу (близько 74,3 %) транспортування гірничої маси здійснюється рейковим транспортом. Для таких териконів характерне складування породи у вигляді конусоподібних насипів висотою 50–100 м і більше, із займаною площею від 2 до 10 га.

Відвали, складовані у 50–60-х роках ХХ століття, переважно мають конусоподібну або хребтову форму, тоді як сучасні технології складування забезпечують формування переважно плоских відвалів. За результатами морфометричного аналізу 650 породних відвалів встановлено, що найбільш поширеними є плоскі та конусоподібні форми, що відображає особливості технологій їх формування та складування породної маси [21]. Їх речовинний склад представлений переважно алевролітами, аргілітами, пісковиками та сланцями з включеннями вуглецевої речовини різної концентрації. На окремих ділянках вміст вугілля може досягати 40 %, що свідчить про наявність у породних відвалах значного ресурсного потенціалу та створює передумови для їх повторного освоєння як джерела вторинної мінеральної й енергетичної сировини. При тому у роботі [22] зазначено,

що для планування стратегії промислового освоєння породних відвалів насамперед необхідно виокремити інвестиційно привабливі об'єкти. З цією метою запропоновано здійснювати оцінку пріоритетності розробки териконів із використанням методу інтегральної оцінки, який базується на врахуванні сукупності техніко-економічних та інфраструктурних параметрів. До основних показників оцінки належать:

- обсяг запасів гірських порід, що характеризує потенційну вартість ресурсів у відвалі; пріоритет надається об'єктам із більшими запасами;
- вміст вугілля, який є ключовим фактором рентабельності розробки; перевага надається відвалам із вищим вмістом;
- наявність ліній постачання, що визначає можливість забезпечення виробничого процесу; пріоритет надається об'єктам із розвинутою інфраструктурою;
- наявність транспортних вузлів, які впливають на ефективність логістики; перевага надається відвалам, розташованим поблизу таких вузлів;
- форма відвалу, що оцінюється за відношенням його висоти до площі (H/S , де H – висота, м; S – площа, м^2); пріоритет мають відвали з меншим значенням показника;
- вологість породи, яка впливає на технологічність розробки; перевага надається відвалам із нижчою вологістю;
- вміст сірки, що визначає екологічні та якісні характеристики сировини; пріоритет мають відвали з мінімальним вмістом сірки;
- близькість до територій постійного проживання населення, яка впливає на логістичні витрати та екологічні обмеження; перевага надається об'єктам, розташованим на меншій відстані.

Запропонований підхід дозволяє комплексно оцінити відвали з позицій їх економічної доцільності та технологічної доступності, що є важливим етапом обґрунтування рішень щодо їх подальшого освоєння. А в умовах постійного формування та нарощування відвалів визначається їх подальше відпрацювання. Наприклад, відсипання хребтового відвалу проводять зазвичай послідовними конусами з фіксованими місцями розвантаження породи, внаслідок чого структурні зони первинного конуса розташовуються віялоподібно на первинному конусі нерозділеної маси. Конічні відвали формують за допомогою рейкових і канатних доріг, де порода вивантажується на вершині конуса. Збільшення висоти відвалу забезпечується за рахунок пересування розвантажувальної ферми та нарощування рейкових шляхів. До досягнення ним висоти 10 м поділ відвальної маси не відбувається.

Під час будівництва породних відвалів застосовують одноковшеві екскаватори, конвеєрні відвалоутворювачі (консольні та транспортно-відвальні мости), а також автомобільний транспорт. Найбільш поширеним способом формування відвалів є конічний, що реалізується із використанням автомобільного транспорту.

Формулювання невирішеної частини проблеми та мети. В умовах трансформації гірничодобувної галузі та впровадження принципів циркулярної економіки особливої актуальності набуває комплексне використання техногенних ресурсів, накопичених у породних відвалах вуглевидобувних підприємств.

Незважаючи на поступове скорочення ролі теплової генерації, її функціонування залишається важливим елементом забезпечення стабільності енергосистеми, що обумовлює необхідність залучення додаткових джерел енергетичної сировини та підвищення ефективності використання відходів гірничого виробництва.

Проведений аналіз наукових досліджень свідчить, що значну увагу приділено питанням формування, класифікації, морфологічних особливостей, речовинного складу та екологічного впливу породних відвалів. Водночас особливості їх формування безпосередньо визначають геометричну будову, фізико-механічні властивості, умови відпрацювання та можливість застосування різних технологічних рішень під час повторного освоєння цих техногенних родовищ. Незважаючи на значний обсяг наукових досліджень, на сьогодні відсутній комплексний підхід до систематизації та класифікації технологічних схем розробки породних відвалів з урахуванням способу їх формування, морфологічних характеристик, речовинного складу, технічного стану та перспектив подальшого використання. Така невизначеність ускладнює обґрунтований вибір ефективних технологічних рішень щодо їх розробки, знижує рівень комплексного використання накопичених ресурсів і обмежує можливості залучення породних відвалів як джерела вторинної енергетичної та мінеральної сировини. У зв'язку з цим виникає необхідність розроблення системного підходу до класифікації технологічних схем розробки породних відвалів, який враховуватиме особливості їх формування, морфологічної будови, речовинного складу та технологічного стану і забезпечуватиме науково-обґрунтований вибір напрямів їх подальшої розробки.

Отже, **метою даної роботи** є наукове обґрунтування підходів до систематизації та класифікації технологічних схем розробки відходів вуглевидобутку з урахуванням їх морфологічних характеристик, параметрів транспортних комунікацій, особливостей формування вантажопотоків і розвитку фронту гірничих робіт.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити низку завдань, а саме: виокремити типи відвалів за формою та здійснити систематизацію схем їх розробки; дослідити закономірності формування вантажопотоків у межах відвалів з урахуванням їх будови, параметрів транспортних комунікацій, наявності верхнього майданчика та особливостей розвитку фронту гірничих робіт; розробити класифікацію вуглевмісних відвалів для обґрунтування вибору технологічних схем їх розробки.

Методика проведення досліджень включає комплексний аналіз морфологічних, геометричних та технологічних характеристик відвалів вуглевидобутку та включає чотири взаємопов'язані послідовні етапи.

На першому етапі виконано аналіз наукових джерел, присвячених формуванню, типології та зміні параметрів відвалів у процесі їх експлуатації. На основі узагальнення літературних даних здійснено виокремлення основних типів відвалів за формою та визначено характерні особливості їх будови і розвитку. Другий етап дослідження передбачав систематизацію технологічних схем розробки відвалів із урахуванням їх морфологічних характеристик, параметрів транспортних комунікацій, наявності верхніх майданчиків та умов розвитку фронту гірничих робіт. Для цього застосовано методи порівняльного аналізу та

логічного узагальнення, що дозволило встановити взаємозв'язки між геометричними параметрами відвалів і особливостями організації технологічних процесів.

На третьому етапі досліджено особливості формування вантажопотоків у межах відвалів. Оцінка здійснювалась з урахуванням конфігурації транспортних трас, способів під'їзду до робочих зон, а також послідовності відпрацювання окремих ділянок. Це дозволило визначити вплив просторової структури відвалів на ефективність переміщення гірничої маси. На цьому етапі за допомогою програмного забезпечення AutoCAD побудовано принципові технологічні схеми розробки відвалів відповідно до їх систематизації.

Четвертий етап полягав у формуванні та описі класифікації відвалів вуглевидобутку з позицій їх придатності до розробки. Класифікація сформована на основі врахування гірничо-технічних, технологічних, безпекових та екологічних факторів, що впливають на вибір способів ведення гірничих робіт. Отримані результати та їх графічне відображення у вигляді таблиць і схем дозволило сформувати цілісне уявлення про взаємозв'язок параметрів відвалів та технологічних рішень щодо їх розробки.

Виклад основного матеріалу. На основі аналізу попередніх досліджень узагальнено основні форми відвалів, що формуються внаслідок діяльності вуглевидобувних підприємств. Відповідно до сучасних наукових підходів, за формою виокремлюють чотири основні типи відвалів: конічні, у вигляді усіченого конуса, хребтові та пласкі (площадні).

Конічні відвали, залежно від особливостей просторового розміщення, поділяються на одинарні та парні, які розташовуються поруч, але не мають взаємного перетину в основі. Аналогічний підхід до класифікації застосовується і до відвалів у формі усіченого конуса, які також можуть бути представлені як одинарними, так і парними. Хребтові відвали, як правило, формуються шляхом нанесення нових насипів на укоси раніше сформованих відвальних споруд. У результаті цього утворюються подовжені форми відвалів, які можуть бути як здвоєними, так і витягнутими в одному напрямку. Подовжені хребтові відвали, своєю чергою, можуть характеризуватися наявністю ряду конічних вершин, суцільного гребеня або пласкої поверхні з незначним за подовжніми розмірами майданчиком. Пласкі (площадні) відвали за формою поділяються на однарусні та багаторусні. Вони, як правило, займають значні площі та можуть мати як правильну, так і неправильну форму в плані, що визначається умовами їх формування та технологічними особливостями відвалоутворення.

Системний підхід до класифікації відвалів за ознакою наявних транспортних комунікацій у науковій літературі практично відсутній, однак аналіз їх морфологічних характеристик і умов формування дозволяє виділити окремі типові елементи шляхів доступу на відвал. Зокрема, круті підйоми характерні для відвалів конічної форми, у вигляді усіченого конуса та хребтових, тоді як заїзди переважно формуються на пласких (площадних) відвалах, а також у окремих випадках – на відвалах у формі усіченого конуса за умови значних розмірів їх основи.

За формою трас початкових транспортних комунікацій відвали доцільно розглядати за трьома основними типами: прямолінійний підйом, серпантин та

спіраль. Прямолінійний підйом переважно характерний для конічних відвалів, відвалів у формі усіченого конуса та хребтових. Серпантинні та спіральні траси частіше формуються на плоских (площадних) відвалах, а також можуть зустрічатися на відвалах у формі усіченого конуса за умови значних розмірів їх основи.

Вантажопотоки на відвалах формуються з урахуванням їх морфологічної форми, розмірів та умов розміщення транспортних комунікацій. Зокрема, для конічних відвалів характерною є обмеженість площі та крутизна схилів, що у більшості випадків обумовлює доцільність формування одного основного під'їзного шляху і, відповідно, одного вантажопотоку при їх розробці. Це забезпечує спрощення організації гірничих робіт і підвищення керованості технологічного процесу. Водночас плоскі (площадні) та витягнуті відвали, які займають значні площі, характеризуються можливістю організації декількох під'їзних шляхів, що дозволяє формувати декілька паралельних вантажопотоків для підвищення продуктивності розробки, оптимізації транспортних витрат і рівномірному відпрацюванню масиву. Для відвалів у формі усіченого конуса та хребтових можливе поєднання різних схем організації вантажопотоків: від одного основного до декількох допоміжних, що визначається їх геометричними параметрами, ступенем розвиненості транспортної інфраструктури та прийнятою технологією відпрацювання. Кількість та конфігурація вантажопотоків безпосередньо залежать від форми відвалу, що необхідно враховувати при проектуванні технологічних схем їх розробки з метою забезпечення ефективності, безпеки та раціонального використання ресурсів.

Однією з класифікаційних ознак технологічних схем розробки породних відвалів є характер розвитку фронту гірничих робіт, який, як правило, передбачає відпрацювання породної маси у напрямку зверху вниз відносно транспортних комунікацій. Разом із тим, за висоти відвалу, що не перевищує максимально допустимої висоти черпання виймально-навантажувального обладнання, забезпечується можливість формування фронту гірничих робіт із довільним напрямком його розвитку, що підвищує гнучкість технологічних рішень і розширює можливості організації процесу розробки.

Для обґрунтування раціональних технологічних схем розробки вуглевмісних відвалів виконано їх систематизацію за сукупністю ознак, що визначають умови ведення гірничих робіт і транспортування сировини. До основних класифікаційних параметрів віднесено тип відвалу за формою, особливості транспортних комунікацій, конфігурацію трас, наявність верхнього майданчика, умови формування вантажопотоків на відвалі. Узагальнення зазначених параметрів дозволило виділити типові варіанти організації схем розробки для конічних (K_1, K_2), відвалів у формі усіченого конуса (U_1, U_2), хребтових (X_1, X_2) і плоских (площадних) (P_1, P_2) відвалів та розвитку фронту гірничих робіт. Результати систематизації наведено в табл. 1, де для кожного типу відвалу встановлено характерні поєднання морфологічної форми, транспортної доступності та технологічних умов відпрацювання. На основі даних табл.1 відповідно до систематизації відвалів наведено відповідні технологічні схеми їх розробки (рис.1–4).

Таблиця 1

Класифікація породних відвалів за формою
та технологічними особливостями їх розробки

Тип відвалу за формою	Транспортні комунікації	Форма траси	Наявність верхнього майданчика	Формування вантажопотоків на відвалі
Конічні				
- одинарні (K_1)	Крутий підйом	Прямолінійна	Відсутній	Один
- парні (K_2)	два окремих підйома	Прямолінійні	Відсутні	Окремі
Усічений конус				
- одинарні (U_1)	Крутий підйом	Прямолінійний	Присутній	Один
- парні (U_2)	Два окремих підйома	Прямолінійні, серпантин	Присутні	Один або окремі
Хребтові				
- здвоєні (X_1)	Два крутих окремих підйома	Прямолінійні, серпантин	Відсутні	Один або окремі
- подовжені (X_2)	Крутий підйом на початку формування	Прямолінійні	Відсутні	Один або декілька
Пласкі (площадні)				
- одноярусні (P_1)	Заїзд один або декілька	Прямолінійні	Присутній	Один або декілька
- багатоярусні (P_2)	Заїзд один або декілька	Прямолінійні, спіральні, серпантин	Присутній	Один або декілька

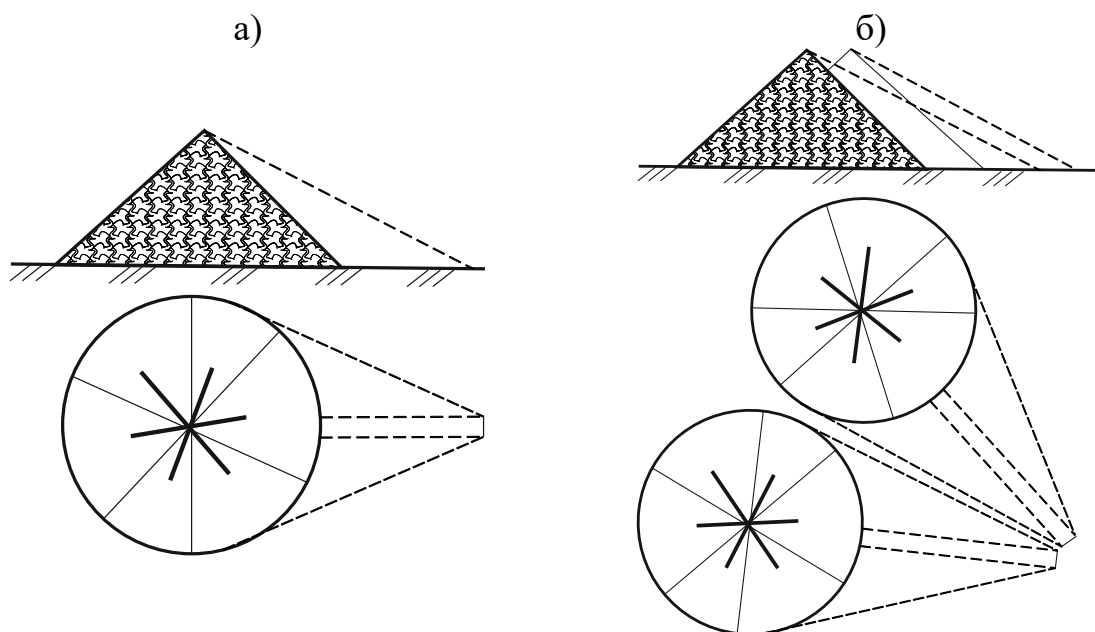


Рис. 1. Схеми розробки конічних відвалів: а – одинарного (K_1); б – парного (K_2); розвиток фронту робіт здійснюється зверху від транспортного шляху

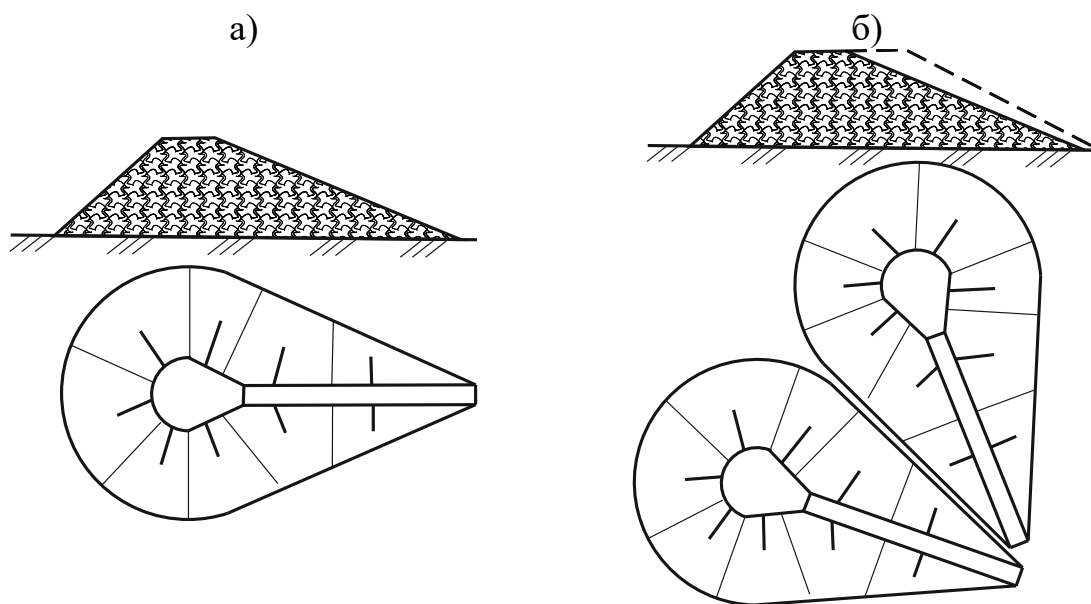


Рис. 2. Схеми розробки відвалів у формі усіченого конуса: а – одинарного (розвиток фронту робіт зверху від транспортного шляху) (U_1); б – парного (розвиток фронту робіт з одним з'їздом або з окремими з'їздами) (U_2)

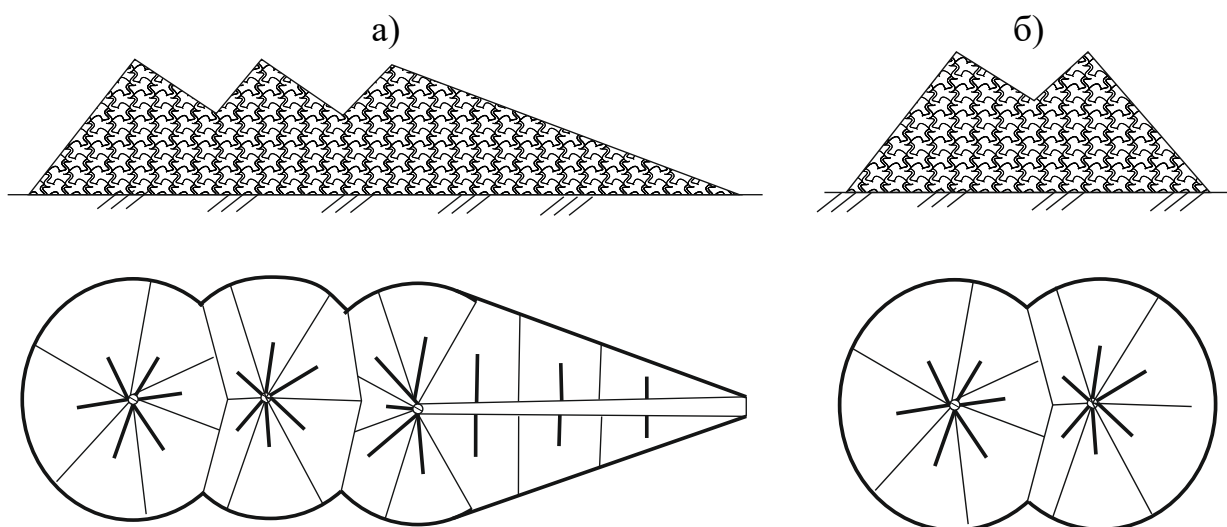


Рис. 3. Схеми розробки хребтових відвалів: а – здвоєний (X_1); б – подовжені (X_2); розвиток фронту робіт здійснюється зверху від транспортного шляху

Представлені результати (табл. 1 та рис. 1–4) формують єдиний методичний підхід до вибору технологічних схем розробки відвалів, забезпечують їх класифікацію за конструктивними та технологічними ознаками, а також створюють основу для обґрунтованого вибору найбільш ефективних варіантів організації гірничих робіт з урахуванням морфологічних особливостей і параметрів техногенного масиву.

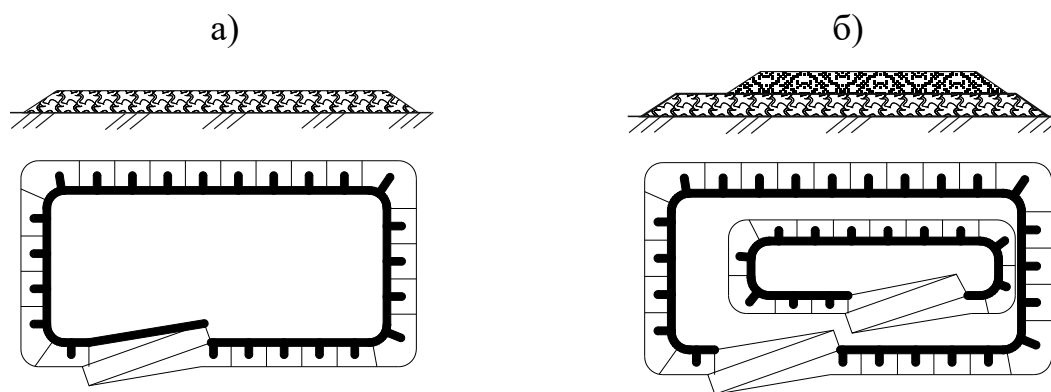


Рис. 4. Схеми розробки плоских (площадних) відвалів: а – одноярусний (розвиток фронту робіт знизу – при незначній висоті або зверху – пошарово) (P_1); б – багатоярусний (розвиток фронту робіт зверху – пошарово, або з посуванням всіх ярусів починаючи з верхніх) (P_2)

З урахуванням узагальненої систематизації та схем розробки відвалів для ефективної розробки відходів вуглевидобутку авторами запропоновано вдосконалений підхід до їх класифікації, орієнтований на оцінку придатності до ведення гірничих робіт. В основі такого підходу лежить комплексний аналіз технічних умов розробки, параметрів безпечної експлуатації та сукупності факторів, що визначають можливість і доцільність залучення відвалів до повторного використання. При цьому враховуються геометричні характеристики відвалів, структурно-механічні властивості гірських порід, ступінь їх ущільнення, стабільність укосів, а також наявність небезпечних процесів, зокрема внутрішнього нагрівання, зсувних деформацій і газодинамічних проявів.

Розроблена класифікація дозволяє системно розмежувати відвали за рівнем їх технологічної доступності та складності розробки, що створює основу для вибору раціональних варіантів організації гірничих робіт. Зокрема, вона забезпечує можливість формування технологічних рішень у частині виймально-навантажувальних операцій, транспортування гірничої маси та її подальшої переробки з урахуванням фізико-механічних характеристик гірничої маси. Важливою складовою запропонованої класифікації є критерії безпеки та екологічної оцінки, що дозволяють враховувати потенційні ризики при розробці відвалів, які пов'язані із запобіганням розвитку небезпечних геомеханічних процесів, локалізації осередків самозаймання, контролю газовиділення та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Урахування цих аспектів забезпечує підвищення рівня промислової безпеки та відповідність сучасним екологічним вимогам. Запропонований підхід створює передумови для ранжування відвалів за пріоритетністю їх залучення до розробки, виходячи з поєднання технічної здійсненності, економічної ефективності та екологічної доцільності. Це дозволяє визначати найбільш перспективні об'єкти для розробки, забезпечуючи раціональне використання техногенних ресурсів і мінімізацію витрат на їх підготовку та розробку.

У підсумку, запропонована класифікація може бути використана як універсальний інструмент для обґрунтування інженерних рішень у сфері комплексної

переробки відходів вуглевидобутку. Її застосування сприяє підвищенню ефективності залучення вторинних мінеральних ресурсів у господарський обіг, зниженню техногенного навантаження на довкілля та формуванню більш стійких і безпечних підходів до ведення гірничих робіт у межах техногенних об'єктів.

Класифікацію вуглевмісних відвалів для визначення раціональних технологічних схем їх розробки доцільно здійснювати за сукупністю ознак, що відображають гірничо-технічні, технологічні, безпекові та екологічні умови їх розробки.

За висотою відвали поділяються на низькі, середні та високі. До низьких належать відвали, які можуть бути повністю відпрацьовані виймально-навантажувальним обладнанням з нижнього рівня без необхідності заїзду на їх поверхню; їх висота, як правило, становить до 5–10 м, а кількість ярусів обмежується одним. Середні відвали передбачають розробку у два яруси з розміщенням обладнання на відповідних рівнях, при цьому висота одного ярусу становить 10–12 м. Високі відвали характеризуються багатоярусною структурою (понад два яруси) з аналогічними параметрами висоти ярусів і потребують поетапної розробки з використанням складніших технологічних схем.

За наявністю транспортних комунікацій відвали класифікуються на такі, що мають облаштовані дороги, придатні для переміщення гірничої маси; такі, що потребують додаткового облаштування транспортної інфраструктури; а також на відвали, де дороги відсутні. За вмістом корисної мінеральної складової у межах окремих ділянок відвали поділяються на такі, що характеризуються високим (> 15 %) або низьким вмістом цінної сировини, а також на ділянки, де вона частково вигоріла або відсутня. З урахуванням термічного стану виділяють ділянки, що потребують попереднього охолодження вуглевмісної сировини перед розробкою, та такі, що можуть розроблятися без додаткових заходів термічної стабілізації.

За видом транспорту, який застосовується під час розробки, розрізняють використання автосамоскидів (колісних або гусеничних) при відстанях транспортування до 1,5 км, конвеєрного транспорту (до 0,5 км), підвісних канатних доріг (до 0,3 км), а також навантажувачів (до 0,4 км), що визначає конфігурацію транспортно-технологічних потоків.

За просторовим розміщенням відносно територій постійного перебування населення відвали поділяються на такі, що знаходяться в межах населених пунктів, і такі, що розташовані за їх межами, що суттєво впливає на вимоги до екологічної та промислової безпеки.

З позицій пожежної небезпеки виділяють відвали, на яких відсутні процеси горіння, відвали, схильні до самозаймання, а також об'єкти з наявними осередками відкритого горіння. За інтенсивністю пилоутворення поверхні відвалу розрізняють укуси та горизонтальні ділянки, схильні або не схильні до пило-виділення, що визначає необхідність застосування заходів боротьби з пилом.

Стан поверхонь відвалу оцінюється за наявністю або відсутністю ознак ерозійних процесів, що впливають на стійкість укосів і безпечність ведення робіт. За умовами розміщення у рельєфі відвали можуть бути сформовані на рівнинній місцевості, у межах ярів або балок, а також на косогорах чи крутих схилах, що обумовлює специфіку їх геомеханічного стану та вибір технологій розробки.

Узагальнення наведених класифікаційних ознак дозволяє комплексно оцінити умови розробки відвалів, обґрунтувати вибір технологічних схем та забезпечити ефективну і безпечну розробку техногенних родовищ. Схема взаємозв'язку класифікаційних ознак відвалів вуглевидобутку наведена на рис. 5.

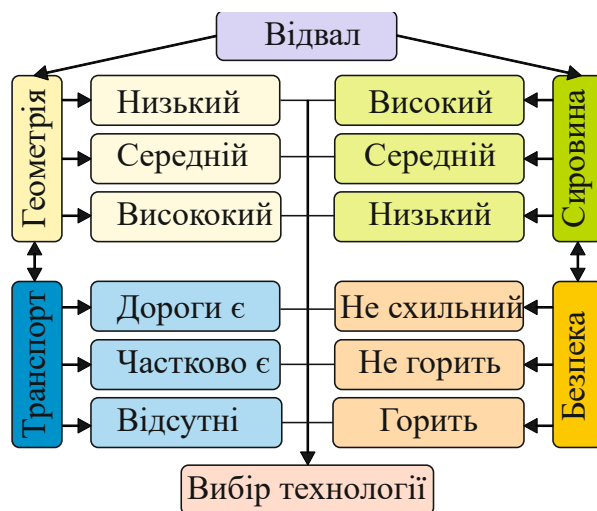


Рис. 5. Структурно-логічна схема взаємозв'язку класифікаційних ознак відвалів вуглевидобутку

Схема, наведена на рис. 5, відображає сформований авторський підхід до вибору технології розробки відвалів як багатофакторних техногенних систем, у межах яких окремі характеристики не функціонують ізольовано, а утворюють взаємопов'язаний комплекс. У структурі схеми виокремлено чотири узагальнені групи факторів, що формують вихідні умови для прийняття технологічних рішень.

Геометричні параметри відображають морфологічні особливості відвалу, зокрема його висоту, що визначає можливі варіанти організації розробки та обмеження щодо застосування технологічного обладнання. Якісні характеристики сировини формують уявлення про її придатність до переробки та доцільність залучення окремих ділянок до освоєння. Транспортні умови характеризують рівень забезпеченості об'єкта інфраструктурою доступу та визначають складність організації вантажопотоків і переміщення гірничої маси. Безпекові фактори враховують наявність небезпечних процесів, зокрема схильність до самозаймання або наявність осередків горіння, що обумовлює необхідність обмежень і застосування спеціальних технічних заходів.

Згідно зі схемою, сукупний вплив зазначених факторів спрямований на формування обґрунтованого вибору технології розробки відвалу. Таким чином, кожна група параметрів виступає як визначальний або обмежувальний чинник у процесі прийняття інженерних рішень, забезпечуючи впровадження технологічні рішення до конкретних гірничо-геологічних умов розробки відвалів.

Результатом реалізації обраних технологічних підходів є досягнення необхідного рівня ефективності освоєння відвалів за одночасного забезпечення безпечних умов ведення робіт і мінімізації негативного впливу на довкілля. Отже, представлена схема демонструє, що системна взаємодія класифікаційних ознак є основою для обґрунтованого вибору технологічних схем та оптимізації процесів розробки відвалів вуглевидобутку.

Висновки. Розроблено технологічні схеми розробки породних відвалів залежно від їх морфологічної будови, параметрів транспортної інфраструктури та просторової організації гірничих робіт. Встановлено, що форма відвалу безпосередньо визначає можливі варіанти організації транспортних комунікацій, кількість вантажопотоків і напрямок розвитку фронту відпрацювання.

Запропоновано класифікацію вуглевмісних відвалів, яка враховує сукупність гірничо-технічних, технологічних, безпекових та екологічних факторів. На відміну від існуючих підходів, вона забезпечує комплексну оцінку придатності техногенних об'єктів до освоєння та створює основу для вибору раціональних технологічних рішень.

Розроблено структурно-логічну схему взаємозв'язку класифікаційних ознак відвалів, яка поєднує геометричні параметри, якісні характеристики сировини, транспортні умови та безпекові фактори. Її використання дозволяє здійснювати комплексне обґрунтування технології розробки породних відвалів з урахуванням конкретних гірничо-технічних умов.

Вдячність. Представлені результати отримано в рамках виконання Проєкту 2025.07/0393 «Розвиток наукових основ фізико-хімічних і термодинамічних процесів газифікації відходів вуглевидобутку для ресурсного забезпечення та сталого розвитку» за підтримки Національного фонду досліджень України.

Перелік посилань

1. Jahandari, S., Tao, Z., Chen, Z., Osborne, D., & Rahme, M. (2023). Coal wastes: handling, pollution, impacts, and utilization. *The Coal Handbook*, 97–163. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-824327-5.00001-6>
2. Sun, Y., Bai, B., Yang, X., Zhu, S., Tian, J., Wang, Z., Xu, L., Xu, L., & Shen, B. (2025). Coal Gangue Utilization: Applications, Challenges, and Sustainable Development Strategies. *Energies*, 18(2), 444. <https://doi.org/10.3390/en18020444>
3. Bian, Z., Dong, J., Lei, S., Leng, H., Mu, S., & Wang, H. (2008). The impact of disposal and treatment of coal mining wastes on environment and farmland. *Environmental Geology*, 58(3), 625–634. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1537-0>
4. Петльований, М.В., & Сай, К.С. (2022). Доцільність розробки породних відвалів вугільних шахт. В *Матеріалах міжнародної науково-практичної конференції молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти «Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки»* (с. 44–47). Рівне, Україна: Національний університет водного господарства та природокористування. <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/161468>
5. 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>
6. Зубов, О.Р., Зубова, Л.Г., & Зубов, О.А. (2018). Оцінювання впливу териконів на екологічний стан агроландшафтів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 29(9), 50–59. <https://doi.org/10.36930/40290909>
7. Davidenko, N., Anisimov, O., Saik, P., & Demydov, M. (2024). On the technology of waste rock dump development in coal mines. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 79, 15–25. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/79.015>
8. Казанський, Д., Некрасова, А., Савицький, О., Павлов, Ю., Смірнов, П., Тарабанова, С., & Янова, Г. (2017). *Справжня ціна вугілля в умовах війни на Донбасі: погляд крізь призму прав людини*. Київ: Видавництво ТОВ «АРТ КНИГА».

9. Іванов, Є. (2024). Обсяги накопичення гірничопромислових відходів у Львівсько-Волинському кам'яновугільному басейні, проблеми і перспективи їх використання. *Надрокористування в Україні. Перспективи Інвестування: IX Міжнародна науково-практична конференція* (7–11 жовтня 2024 р., м. Львів). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13129.97121>
10. Іванов, Є. А., & Ковальчук, І. П. (2024). Накопичення гірничопромислових відходів у Львівсько-волинському кам'яновугільному басейні: сучасний стан, проблеми і перспективи поводження. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, (7), 75–84. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.8>
11. Чоботько І., Хорольський, А., Виноградов, Ю., & Косенко, А. (2023). *Інноваційні технології використання відходів вуглевидобутку*. Дніпро: ЛІРА.
12. Ren, H., Zhao, Y., Xiao, W., Zhang, J., Chen, C., Ding, B., & Yang, X. (2022). Vegetation growth status as an early warning indicator for the spontaneous combustion disaster of coal waste dump after reclamation: An unmanned aerial vehicle remote sensing approach. *Journal of Environmental Management*, 317, 115502. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115502>
13. Gorova, A., Pavlychenko, A., & Borysovs'ka, O. (2013). The study of ecological state of waste disposal areas of energy and mining companies. *Mining of Mineral Deposits*, 169–172. <https://doi.org/10.1201/b16354-29>
14. Porovych, V., Pidhorodetsky, Y., & Pinder, V. (2016). Типологія териконів львівсько-волинського вугільного басейну. *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(8), 238–243. <https://doi.org/10.15421/40260837>
15. Лобов, І.М. (2002). *Функціонально-планувальна реабілітація забудови порушених територій (на прикладі Донецько-Макіївської агломерації)*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. Донбаська державна академія будівництва і архітектури.
16. Попович, В., & Піддер, В. (2016). Горіння териконів як ландшафтно-трансформуючий чинник зростання регіональної екологічної небезпеки. *Пожежна безпека*, (29), 116–124.
17. Ковальчук, М., & Крошко, Ю. (2021). Паспортизація породних відвалів вуглевидобувних територій – основа створення їх гіс-системи та оцінки впливу на довкілля. *Гірнича геологія та геоecологія*, 1(2), 35–51. [https://doi.org/10.59911/mgg.2786-7994.2021.1\(2\).251868](https://doi.org/10.59911/mgg.2786-7994.2021.1(2).251868)
18. Ковальчук, М., & Крошко, Ю. (2021). Геометризація породних відвалів вуглевидобувної промисловості – інформаційна основа для оцінки їх впливу на довкілля. *Сучасні проблеми гірничої геології та геоecології: збірник матеріалів міжнародної наукової конференції (Київ, 29 – 30 листопада 2021 р.)*, ДУ НЦ ГТГРІ НАН України, 100–104.
19. Зубов, А., & Зубов О. (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>
20. Смирний, М., Зубова, Л., & Зубов, О. (2006). *Екологічна безпека териконових ландшафтів Донбасу: Монографія*. Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля.
21. Петльований, М., Гайдай, О. (2017). Аналіз накопичення і систематизація породних відвалів вугільних шахт, перспективи їх розробки. *Геотехнічна механіка*, (136), 147–158.
22. Брик, Д., Гвоздевич, О., Кульчицька-Жигайло, Л., & Подольський, М. (2019). Техногенні вуглевмісні об'єкти Червоноградського гірничопромислового району та деякі технічні рішення їхнього використання. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 4(181) 45–65. <https://doi.org/10.15407/ggcm2019.04.045>

ABSTRACT

Purpose. To provide a scientific substantiation of approaches to the systematization and classification of technological schemes for mining coal-bearing waste dumps, considering their morphological characteristics, parameters of transport infrastructure, specific features of material flow formation, and the development of the mining front.

Methodology. The research methodology is based on a comprehensive analysis of scientific literature and the morphological, geometric, and technological characteristics of waste rock dumps. The study employs comparative analysis, systematization, classification, logical generalization, and graphical modelling of technological schemes using AutoCAD software

Findings. The principal types of waste rock dumps at coal mining enterprises have been generalized and systematized according to their morphological and technological characteristics. A classification of technological schemes for their mining has been developed, considering dump geometry, transport infrastructure, haulage route configuration, conditions governing material flow formation, and the development of the mining front. A structural and logical framework demonstrating the relationships among the classification criteria has been proposed, enabling a substantiated selection of rational technological solutions for waste rock dump mining.

Originality. For the first time, a comprehensive approach to the systematization and classification of technological schemes for mining coal-bearing waste rock dumps has been proposed. Unlike existing approaches, it simultaneously considers the morphological characteristics of waste dumps, parameters of transport infrastructure, patterns of material flow formation, the nature of mining front development, as well as mining, technical, safety, and environmental factors that determine the conditions for their efficient exploitation.

Practical implications. The practical significance of the obtained results lies in the development of a scientifically substantiated framework for selecting technological schemes for mining waste rock dumps at coal mining enterprises. The proposed approaches can be applied in mine planning, determining priorities for the exploitation of technogenic accumulations, improving the efficiency of secondary mineral and energy resource utilization, and minimizing the adverse environmental impacts of mining activities.

Keywords: *waste rock dump, coal mining enterprise, technogenic resources, mining schemes, classification, transport infrastructure, material flows, mining front.*

дата першого надходження статті до видання	10.04.2026
дата прийняття до друку статті після рецензування	21.05.2026
дата публікації (оприлюднення)	30.06.2026