

Дмитро БРИК, Олег ГВОЗДЕВИЧ,
Леся КУЛЬЧИЦЬКА-ЖИГАЙЛО, Мирослав ПОДОЛЬСЬКИЙ

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів,
e-mail: cencon@ukr.net

ТЕХНОГЕННІ ВУГЛЕВМІСНІ ОБ'ЄКТИ ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ ТА ДЕЯКІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ЇХНЬОГО ВИКОРИСТАННЯ

Україна має значні запаси вугілля. Червоноградський гірничопромисловий район є головним вуглевидобувним комплексом на заході України. Концентрація вугільних техногенних об'єктів (копальні, гірничі інфраструктура, відходи вуглевидобутку та вуглезбагачення) на відносно невеликій площі спричинила деградацію навколишнього середовища. Тому технологічні та екологічні аспекти використання вуглевмісних техногенних об'єктів у Червоноградському гірничопромисловому районі мають особливе значення та актуальність.

Представлено характеристики відвалів вуглевидобутку та результати технічного аналізу вуглевмісних відходів на території Червоноградського гірничопромислового району. Показано негативний вплив вуглевмісних техногенних об'єктів вуглевидобутку на навколишнє середовище.

Розглянуто розроблені і запатентовані технічні та технологічні рішення щодо використання техногенних вуглевмісних об'єктів. Мета цих рішень – отримання цінних компонентів, а також енергії з техногенних відходів вугільних копалень та поліпшення довкілля.

Ключові слова: вугілля, Червоноградський гірничопромисловий район, відвали вугільних шахт, вуглевмісні відходи, технологічні рішення.

Вступ. Україна володіє значними ресурсами вугілля (табл. 1., BP Statistical Review..., 2019). Її запаси (у перерахунку на умовне паливо) становлять 94–97 % від сумарних покладів горючих копалин. Незважаючи на це, вугілля власного видобутку лише на 55–60 % задовольняє потреби економіки держави. Аналогічну ситуацію спостерігаємо в Німеччині.

Відмова від твердих видів палива і перехід на відновлювальні джерела енергії є загальноєвропейською тенденцією, спрямованою на збереження екологічно чистого майбутнього, та частиною зобов'язань для боротьби зі зміною клімату, які ЄС взяв на себе в рамках «Європейської зеленої угоди» та «Паризької угоди» 2015 року. Концепція «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року передбачає повне заміщення вугільної генерації та перехід економіки України, яка сьогодні базується на використанні викопних видів палива – вугілля, нафти, газу, до кліматично нейтральної економіки.

© Дмитро Брик, Олег Гвоздевич, Леся Кульчицька-Жигайло,
Мирослав Подольський, 2019

ISSN 0869-0774. Геологія і геохімія горючих копалин. 2019. № 4 (181)

Т а б л и ц я 1. Країни світу з найбільшими запасами вугілля, його видобуток та споживання (2018)

| Країна | Загальні доведені запаси вугілля, (total proved reserves of coal) млрд т | Видобуток, млн т н. е. | Споживання, млн т н. е. |
|-----------|--|---------------------------|----------------------------|
| США | 250,2 | 364,5 | 317,0 |
| Росія | 160,4 | 220,2 | 88,0 |
| Австралія | 147,4 | 301,1 | 44,3 |
| Китай | 138,8 | 1828,8 | 1906,7 |
| Індія | 101,4 | 308 | 452,2 |
| Індонезія | 37,0 | 323,3 | 117,5 |
| Німеччина | 36,1 | 37,6 | 66,4 |
| Україна | 34,4 | 14,5 | 26,2 |
| Польща | 26,5 | 47,5 | 50,5 |
| Казахстан | 25,6 | 50,6 | 40,8 |

Приблизно 18 країн європейського континенту планують повністю припинити видобуток та спалювання вугілля і знизити в такий спосіб викиди парникових газів. До прикладу, Німеччина готується відмовитися від споживання вугілля до 2038 р., Великобританія – до 2025 р., Франція – до 2022 р., Греція – до 2028 р., Угорщина – до 2030 р. Також відмовилися розвивати вугільну галузь Португалія та Нідерланди. Водночас, Польща, Румунія, Сербія, Болгарія, Туреччина, Білорусь, Росія та інші не планують найближчим часом припинити використання вугілля.

Україна також не зможе швидко відмовитися від виробництва електроенергії на теплових електростанціях; і не лише через те, що тепла генерація виконує роль маневрових потужностей для енергосистеми та є економічно конкурентною, але й тому, що декарбонізація та перехід енергетики на відновлювальні джерела енергії коштують дорого, тому їх можуть собі дозволити лише багаті індустріально розвинені країни. У цих умовах основними напрямками розвитку енергетики в Україні будуть підвищення енергоефективності, енергозбереження та екологічні технології використання паливно-енергетичних ресурсів з поступовими декарбонізацією та переходом до зеленої енергетики.

У Львівській області балансові запаси кам'яного (енергетичного) вугілля станом на 01.01.2019 р. становлять за категоріями: А+В+С1 – 1026 млн т, С2 – 235 млн т. Розроблювані запаси – 307 млн т (табл. 2, ДНВП «Геоінформ України», б. д.).

Т а б л и ц я 2. Динаміка запасів кам'яного вугілля у Львівській області

| Рік | Кількість родовищ | | Запаси на 01 січня (тис. т) | | |
|------|-------------------|---------------------------|-----------------------------|---------|-----------------------|
| | Усього | У т. ч. копалинь у роботі | Усього | | У т. ч. розроблюваних |
| | | | А+В+С1 | С2 | |
| 2017 | 25 | 9 | 1 028 607 | 235 178 | 308 178 |
| 2018 | – // – | – // – | 1 027 727 | 235 178 | 307 298 |
| 2019 | – // – | – // – | 1 026 412 | 235 179 | 307 299 |

Упродовж 2018 р. у Львівській області видобуто 1,57 млн т енергетичного вугілля, що становить 5,7 % видобутку енергетичного вугілля в Україні (або 4,7 % загального видобутку вугілля). Втрати під час видобутку становлять 18–20 %.

Червоноградський гірничопромисловий район (ЧГПР) є найбільшим вугільним комплексом у Львівській області. Вугілля видобувають на копальнях ДП «Львіввугілля» та ПАТ копальня «Надія». Серед копалень ЧГПР, які є в роботі, найбільші балансові запаси вугілля станом на 01.01.2019 р. мають «Степова» – 89,7 млн т, та «Червоноградська» – 63,0 млн т. Копальні «Зарічна» (у процесі закриття) та «Надія» (у роботі) майже відпрацювали запаси вугілля (рис. 1, ДНВП «Геоінформ України», б. д.).

Забалансові запаси діючих копалень становлять 80,4 млн т. Сумарний видобуток вугілля в ЧГПР становив: 2017 р. – 1,55 млн т, 2018 р. – 1,57 млн т, 1,36 млн т (Міністерство енергетики та захисту довкілля України, б. д.). На шести копальнях ДП «Львіввугілля» видобувається 90 % вугілля (табл. 3), його видобування ПАТ копальня «Надія» скоротилося із 202,5 тис. т 2017 р. до 101,3 тис. т 2019 р.

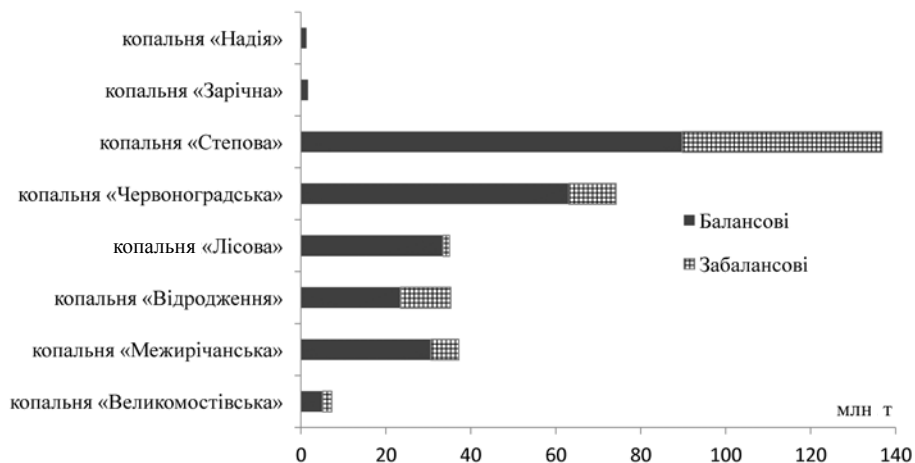


Рис. 1. Запаси кам'яного вугілля копалень Червоноградського гірничопромислового району, млн т

Т а б л и ц я 3. Видобуток та зольність вугілля на копальнях Червоноградського гірничопромислового району

| Назва копальні | Видобуток, млн т | | Зольність, % | |
|----------------------------------|------------------|-----------|--------------|----------|
| | 2017 рік | 2018 рік | 2017 рік | 2018 рік |
| «Великомостівська» | 255,014 | 278,837 | 45 | 49,9 |
| «Межирічанська» | 183,106 | 166,852 | 47,5 | 46,7 |
| «Відродження» | 202,487 | 137,199 | 51,3 | 38,3 |
| «Лісова» | 252,350 | 310,000 | 25,7 | 26,3 |
| «Червоноградська» | 232,354 | 221,474 | 50,4 | 53,9 |
| «Степова» | 217,454 | 299,260 | 30 | 28,8 |
| Разом копальні ДП «Львіввугілля» | 1 342,765 | 1 413,622 | 40,4 | 39,4 |
| ПАТ копальня «Надія» | 202,500 | 159,900 | 31,8 | 30,5 |

Середня зольність видобутого 2018 р. вугілля на копальнях ДП «Львів-вугілля» становила 39,4 %, зольність вугілля копальні «Надія» – 30,5 %. Вугілля трьох копалень – «Червоноградської», «Великомостівської» та «Межирічанської», має зольність понад 45 % (найвища допустима межа зольності рядового вугілля і шламів збагачення, встановлена для умов спалення в пилоподібному стані). Якіснішим є вугілля копалень «Степова» та «Лісова» (зольність – менш ніж 30 %).

У ЧГПР єдиним вуглезбагачувальним підприємством є ПАТ «Львівська вугільна компанія» – колишня Центральна збагачувальна фабрика «Червоноградська» (ЦЗФ). Червоноградська ЦЗФ уведена в дію 1979 р. Проектна потужність (найбільша в Європі) становила 9,6 млн т на рік, що передбачало охоплення збагаченням усього вугілля, яке видобувалося копальнями Львівсько-Волинського вугільного басейну. На сьогодні підприємство переробляє лише 100–150 тис. т на місяць. Відповідно собівартість збагачення на ЦЗФ є надто високою, оскільки фабрика працює на застарілому енергоємному обладнанні.

Характеристика породних відвалів ЧГПР. Основні характеристики техногенних вугільних утворень (об'єктів) на території ЧГПР отримано на підставі аналізу літературних джерел, відкритих даних державної статистики, Міністерства енергетики та захисту довкілля України, даних ДП «Львіввугілля», Державного інформаційного геологічного фонду України («Геоінформ»), національних та регіональних доповідей про стан навколишнього середовища, екологічних паспортів Львівської області та власних результатів дослідження відповідних проб.

Відвали (терикони) копалень локалізовані або біля їхніх скіпових стовпів, або на незначній відстані від них. На території ЧГПР маємо 14 породних відвалів копалень: «Червоноградська», «Червоноградська № 1», «Степова», «Лісова», «Відродження», «Великомостівська», «Великомостівська № 3», «Великомостівська № 4», «Зарічна», «Межирічанська», «Візейська», «Надія», «Великомостівська № 6», «Бендюзька» – та відвал ПАТ «Львівська вугільна компанія».

Відвали займають різну площу – від 9–10 до 29–30 га. Їхня висота сягає 62 м за переважних висот 25–40 м. Кут відкосу порід коливається в межах 37–45°, досягаючи в місцях зсувів та ерозії 70–80°. Така крутість схилів зумовлена мінімальним відчуженням орних земель (площ основи) та насипанням порід у вигляді конуса. Загальна площа земельного відводу під терикони становить понад 1 тис. га. У відвалах діючих копалень ЧГПР зосереджено понад 20 млн м³ відвальних порід (табл. 4). При деяких копальнях існує 2–3 відвали – старші недіючі і діючий. Відвали копалень, сформовані в 50–60-ті роки минулого століття, – хребтоподібної і конусної форми, усі на сьогодні діючі відвали – плоскої форми.

Зупинимося детальніше на характеристиці відвалів (териконів) окремих копалень.

Породний відвал копальні «Візейська». В експлуатації з 1960 р., а виведена з експлуатації 2009 р. Терикон (породний відвал) розташований на відстані 250 м на північний схід від шахти на алювіальних відкладах р. Рати та водно-льодовикових відкладах на позначці 195 м. Площа основи терикона становить 100 тис. м². Висота терикона – понад 60 м. Кут відкосу порід –

Т а б л и ц я 4. Характеристика породних відвалів (териконів) копалень Червоноградського гірничопромислового району

| Назва копальні (роки будівництва) | Проектна потужність копальні, тис т/рік/ Виробнича потужність на 01.01.2018 р., тис. т/рік | № відвалу (терикона) | Роки утворення | Загальна площа земельного відводу/ Площа основи, га | Обсяг породи у відвалі, тис. м ³ | | | Параметри терикона | |
|--------------------------------------|--|-------------------------|-------------------|--|--|--------------|------------|--------------------|--|
| | | | | | загальний | у тому числі | | Форма | Кут нахилу в зоні відсіпки, градуси |
| | | | | | | негоріла | перегоріла | | |
| «Великомостівська» (1952–1958) | 450/300 | 1 | 1960–1961 | 9/1,4 | 3,6 | – | 3,6 | хребтовий | 30–60 |
| | | 2 | 1960–1979 | 25/57,8 | 477,9 | – | 477,9 | конусний | 40–42 |
| «Бендюзька» (1953–1957) | 550/– | 3 | 1979– | 9,8/21,5 | 90,3 | – | – | плоский | 28–36 |
| | | 1 | 1955–2005 | – | 332 | 166 | 166 | конусний | 40–42 |
| «Межирічанська» (1954–1959) | 750/300 | 1 | 1958– | 61,4/28,2 | 2052 | 1552 | 500 | плоский | 30–35 |
| «Відродження» (1955–1961) | 750/350 | 1 | 1961–1962 | 63/51,9 | 1100 | – | 1100 | конусний | 50–80 |
| | | 2 | 1976– | 152/144 | 2699 | 2699 | – | плоский | 29–32 |
| «Лісова» (1955–1963) | 600/250 | 1 | 1956–1979 | 38/4,6 | 834 | – | 834 | конусний | 30 |
| | | 2 | 1959–1979 | 35/4,5 | 600 | – | 609 | конусний | 30 |
| | | 3 | 1979– | 64,3/5,1 | 659,5 | 659,5 | – | плоский | 35 |
| «Зарічна» (1956–1970) | 800/– | 1 | 1970–2015 | 126,1/16,34 | 3685 | 2685 | 1000 | плоский | 29 |
| | | 1 | 1960–2009 | 210/99,9 | 3713 | 1313 | 2400 | плоский | 37 |
| «Візейська» (1955–1960) | 800/– | – | – | – | – | – | – | – | – |
| «Степова» (1964–1978) | 2400/500 | 1 | 1964– | 165,4/92,3 | 3053,4 | 3053,4 | – | плоский | 37 |
| | | 1 | 1972– | 93,6/23,3 | 4132,1 | 4132,1 | – | плоский | 37 |
| «Червоноградська» (1956–1971) | 900/500 | – | – | – | – | – | – | – | – |

від 25 до 47°. Наявні майже вертикальні відкоси, складені горілими породами. Обсяг породи в териконі – 3,7 млн м³. Щорічно терикон поповнювали свіжою породою об'ємом приблизно 40 тис. м³.

Терикон є неоднорідним за будовою, складається з двох взаємопов'язаних частин – західної і східної. Західна частина складена переважно горілими породами у формі усіченого конуса, східна – негорілими, сформованими в плоский відвал. Окремі частини терикона складені різними за складом, звітрілістю і ступенем горілості породами. На схилах він частково рекультивованим шляхом насипання шару піску та суглинків завтовшки 0,5–0,7 м, який заріс травою. Зі східного боку терикон наріс у довжину та з'єднався із відвалом ЦЗФ «Червоноградська». Порода відвалу уламково-зерниста, здебільшого чорного, червоного та сірого кольорів. Мінеральний компонент відкладів утворений сумішшю метаморфізованих піщаних та глинистих мінералів. Гранулометричний склад приповерхневого шару субстрату представлений переважно брилами та гравієм (до 75 % від загальної маси) (Книш, 2008).

Породний відвал копальні «Зарічна». Розташований у межах поля копальні. Сформувався упродовж 1970–2015 рр. Висота відвалу – 41 м. Загальний обсяг породи у відвалі майже 3,7 млн м³. Відвали копальні складені аргілітами (60–65 %), алевролітами (20–25 %), пісковиками (10 %), вугільними сланцями, кам'яним вугіллям і піритами (до 2 %). Порода сформована кусково-зернистими утвореннями, розмір уламків якої не перевищує 150–200 мм. Частина терикона – горілі породи (Іванов та ін., 2010).

Породний відвал копальні «Червоноградська». Діючий плоский породний відвал (терикон) розташований на прилеглий до проммайданчика шахти території на відстані 700 м від породного бункера техкомплексу копальні в західному, південно-західному напрямку, ніколи не горів, висотою 35 м, площа земельного відводу під породний відвал – 93,6 га, площа основи – 23,3 тис. м². Порода на відвал доставляється з допомогою стрічкового конвеєра та автомобільним транспортом.

Рельєф відсипаної породи по площі земельного відводу під терикон має складний характер. По східному контуру відводу хребтоподібний відвал сплановано у вигляді зрізаної піраміди, з півдня і заходу до цієї фігури прилягають відвали у вигляді зрізаних конусів. Ця частина породного відвалу покрита трав'яним дерном і подекуди деревоподібним чагарником. Маса породи в цих відвалах перегоріла. Кут схилів становить 37–40°. Із заходу до цих фігур прилягає робоча площа плоского відвалу, висота відсипки шарів плоского відвалу – від 7 до 14 м. Породний відвал копальні «Червоноградська» є найбільшим териконом у ЧГПР: об'єм нагромадженої породи у відвалі – 4,1 млн м³.

Відвал копальні «Надія». Розміщений на околиці міста Соснівка на флювіогляціальних пісках, частково на алювіальних відкладах р. Західний Буг, експлуатується з 1962 р. Його висота становить 42 м, площа основи – 12 га. З обох боків відвал обмежений деревною рослинністю, з інших – дачними ділянками. На його верхній частині наявні насипи, пониження та ділянки самозаростання. Відвал утворюють перегорілі та неперегорілі породи, на спечених шматках яких трапляються сірчаноокислі зони. На його бічних поверхнях наявна лінійна ерозія. Місцями схили терикона є досить стрімкими й обривистими та утворюють вертикальні стінки. Із південно-східного боку

вершини відвалу та його західної частини відбувається інтенсивне відсіпання шахтної породи, унаслідок чого рельєф терикона ще більше ускладнюється. На відвалі спостерігаються місця самозаймання, зокрема на його вершині. Із метою попередження більш масштабного поширення горіння відвалу на такі ділянки нанесено шар суміші з піску та глини.

Породний відвал копальні «Межирічанська». Копальня працює з 1959 р. Приблизно половину запасів вугілля вичерпано. Її виробнича потужність становить 0,3 млн т вугілля в рік. Терикон розташований на відстані 100 м на захід від шахти на алювіальних відкладах р. Рата. Терикон є штучним нагромадженням порід ізометрично-втягнутої форми в плані і призматичної – у вертикальному перерізі. Площа основи терикона становить 28,2 га, висота сягає 12–28 м. Кут відкосу порід – 30–35°. У териконі нагромаджено 4,1 млн т породи. Річний обсяг закладання породи – 40–50 тис. м³. Терикон складається із двох взаємопов'язаних частин – західної і східної. Він неоднорідний за будовою. На його поверхні переважають негорілі породи. На схилах він частково рекультивований шляхом насипання шару піску та суглинків завтовшки 0,5–0,7 м, який заріс травою. Породи представлені аргілітами (78 %), алевролітами (14 %), пісковиками (6 %) та вугіллям (2 %). Атмосферні опади з терикона потрапляють безпосередньо в річку (Книш, Карабин, 2010; Бучацька та ін., 2014).

2018 р. було відібрано проби і проведено технічний аналіз породи терикона копальні «Межирічанська», щоб встановити, чи придатні вони для термохімічної переробки. Проби за стандартними методиками відбирали у трьох місцях – безпосередньо після конвеєра, на під'їзді до відвалу і з тіла терикона. У лабораторії технічного аналізу визначалися показники зольності, виходу летких речовин, вмісту вологи і сірки (табл. 5).

Породний відвал ЦЗФ «Червоноградська». Відвал гравітаційних відходів Червоноградської ЦЗФ є найбільшим за площею (76 га) та висотою (понад 60 м), складається із 5 ярусів, які відділяються терасами. Навколо відвалу проведено дренажну каналу завглибшки та завширшки понад 1 м. У ньому заскладовано понад 70 млн т відходів вуглезбагачення фракції 0,5–150 мм з зольністю 78,4–79,3 % і вмістом сірки 3,1 %. Гравітаційні відходи вуглезбагачення – це аргіліти (54–97 %), алевроліти (17–28 %), пісковики (2,0–20,7 %), вугілля (до 17 %). Найбільша кількість вугілля (20÷30 %) у відходах флотації. У відходах гравітаційного збагачення класу 1÷13 мм кількість вугілля може досягати 15 %, а у відходах класу 13÷150 мм – 4÷7 %. Велика площа відвалу і наявність схилів з нахилом понад 45 % зумовлюють великі об'єми

Т а б л и ц я 5. Результати технічного аналізу проб терикона копальні «Межирічанська», % мас.

| Місце відбору проби | Зольність | Леткі | Вологість | Сірка |
|----------------------------------|-----------|-------|-----------|---------|
| | A^a | V^a | W^a | S_t^a |
| Безпосередньо з терикона | 82,87 | 11,78 | 1,68 | 4,07 |
| На під'їзді до відвалу | 82,34 | 11,98 | 1,91 | 4,85 |
| Подрібнена порода після конвеєра | 80,2 | 12,59 | 2,12 | 1,6 |

водних стоків, з якими потрапляє в навколишні території ряд токсичних сполук (Бучацька та ін., 2014).

Особливістю териконів є їхня здатність до самозаймання. Горіння призводить до радикальної зміни фазового складу гірських порід терикона. За результатами аналізів підтериконної води, виконаних відомчою лабораторією ДП «Львіввугілля», для копальні «Візейська» *pH* становить до 4,1; вміст сульфатів – до 1018 мг/л, Mn – 5,24 мг/л; для «Межирічанської» *pH* – до 3,8; вміст сульфатів – до 2100 мг/л, Mn – 9,2 мг/л; для «Великомостівської» вміст сульфатів – до 1461 мг/л, Mn – 4,19 мг/л; для копальні «Відродження» *pH* – 3,4; вміст сульфатів – до 1900 мг/л, Mn – 9 мг/л, алюміній – 1,21 мг/л; для «Лісової» *pH* становить 3,2; вміст сульфатів – 3300 мг/л, Mn – 9,05 мг/л. Це свідчить про термохімічне вилуговування і самонагрів териконів. Згідно з матеріалами температурних зйомок, встановлено факти самозаймання та самонагріву шахтної породи.

Унаслідок виймання пустих порід при проведенні гірничих розробок до породних відвалів потрапляє частина вугілля. У відходах вуглевидобутку вміст вугілля коливається від 0 до 10 %. Середній склад відвальної маси териконів, %: аргіліти – 66–75, алевроліти – 15–25, пісковики – 5–15, вугілля й вуглисті породи – 1–10. Зольність відвального вугілля досягає 85–88 %, вміст сірки – 2,5–3,0 %, вологість – 3–5 %.

У складі териконів копалень 39 % маси порід – перегорілі породи зі зміненними структурно-текстурними особливостями, бурувато-червоного кольору розмаїтих відтінків, що свідчить про складні літологічні і петрографічні перетворення, які відбувалися в процесі термального «метаморфізму». Негорілі породи териконів становлять 61 % маси. Для них характерний природний чорно-сірий колір. Здебільшого породи териконів – це породи, які перебували в природному контакті з вугільним пластом, тобто, це породи покрівлі, підшви або внутрішньопластові прошарки, що є зонами найсприятливішої сорбції мікроелементів, де їхнє збагачення досягає двох-трьох і більше фонових рівнів. Важливо також те, що в териконах переважають аргіліти, глиниста складова яких концентрувала в собі в процесі діагенезу та катагенезу такі елементи, як Li, V, B, P, Zn, Pb, Bi, Co та ін. Окрім вугілля, у відвалах міститься низка цінних рідкоземельних металів (германій, скандій, галій, ітрій та ін.), вміст яких може перевищувати їхні кларки в земній корі (Рудько, Бондар, 2016). Тому відвали порід вуглевидобутку можна вважати як джерелом енергії, так і цінної мінеральної сировини.

Особливістю еколого-економічної оцінки техногенних родовищ є те, що вона має враховувати можливість комплексного використання всіх домішок у відвальних породах та їхній вплив на вартість товарної продукції, виробленої із порід терикона; вплив екологічних наслідків утилізації техногенних родовищ; пріоритетність на етапі прийняття рішення про доцільність видобування корисних копалин із порід вугільного терикона.

Концепція промислової розробки породних відвалів повинна ґрунтуватися на двох складових: вилученні цінних корисних компонентів та утилізації або використанні їх як вторинних ресурсів для різних галузей економіки.

Для планування стратегії промислового освоєння породних відвалів, насамперед, потрібно виокремити інвестиційно привабливі об'єкти. Для оцінки

пріоритетності розробки териконів пропонується використовувати метод інтегральної оцінки на основі таких параметрів:

- обсяг запасів гірських порід. Показник, що характеризує вартість запасів цінних ресурсів у відвалі. Пріоритет надається найбільшій цінності;
- вміст вугілля. Основний показник, що визначає рентабельність розробки відвалів. Пріоритет надається найбільшому вмісту;
- наявність ліній постачання. Перевага надається наявності ліній постачання;
- наявність транспортних вузлів. Першість – транспортному вузлу;
- форма відвалу. Вираховується відношенням параметрів H/S (H – висота відвалу, м; S – площа, яку займає відвал, м²). Пріоритет – найменшому значенню;
- вологість породи. Перевага надається найменшому значенню;
- вміст сірки, оскільки це призводить до зниження якості вугілля та забруднення атмосфери при його спалюванні. Пріоритет надається найменшому значенню;
- близькість до територій населення. Показник, що впливає на витрати цінного ресурсу, видобутого з відвалу, транспортування. Першість надається найменшому значенню.

На основі методу інтегральної оцінки складається пріоритетний ряд першочергової розробки породних відвалів копалень, що дозволяє встановити раціональну послідовність розробки породних відвалів (Petlovanıı, Medıanyk, 2018).

На основі оцінки токсичності вугільного відвалу розглянуто питання безпечності використання порід відвалів шахт ЧГПР у тій чи іншій галузі (Волотковская, 2015).

Для кількісної оцінки токсичності терикона застосовується ранжування хімічних елементів терикона за ступенем токсичності для різних напрямків використання (найбільш токсичним присвоюється ранг «-10», мало токсичним – «-1», нейтральним – «0», нетоксичним – «+1») та розраховується інтегральний індекс екологічного навантаження терикона на довкілля як сума добутків рангу токсичності кожного елемента на перевищення його вмісту в териконі над кларковим числом. Придатним для цієї галузі вважається відвал з невід’ємним значенням інтегрального індексу.

На основі розрахованого інтегрального індексу екологічного навантаження для териконів копалень «Візейська» та «Червоноградська» (табл. 6)

Т а б л и ц я 6. Значення розрахованого інтегрального індексу екологічного навантаження териконів копалень «Візейська» та «Червоноградська» для галузей використання породи териконів

| Галузь Копальня | Сільське господарство | Цивільне будівництво | Автомобільне будівництво | Металургія | Хімічна промисловість | Кераміка |
|--------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|------------|-----------------------|----------|
| «Візейська» | -96,4 | -84,1 | -96,4 | 6,4 | -29,8 | -94,8 |
| «Межирічанська» | -148,8 | 97,37 | -148,76 | 114,64 | 109,244 | -144,13 |

зроблено висновок, що оптимальною галуззю використання порід відвалів копальні «Візейська» є металургійна промисловість, а для териконів «Червоноградської» – промислово-цивільне будівництво, металургія та хімічна промисловість. Для використання в інших галузях необхідно зробити попереднє вилучення токсичних компонентів, поки інтегральний індекс не стане невід’ємним.

Основні напрямки поводження з породами териконів (відвалів):

- вилучення цінних компонентів (вугілля, глинозем, залізо, рідкоземельні метали);
- використання вуглевмісних порід як додаткову енергетичну сировину (високозольне паливо, газифікація, утилізація тепла відвалу);
- використання породи як баластного шару при будівництві доріг;
- використання порід як закладного матеріалу;
- використання як заповнювача в бетонах, будівельних розчинах, кераміці.

Концепція розробки техногенних вугільних утворень повинна базуватися також на повній, а не частковій утилізації об’єкта без подальшого повторного складування порід, що є основною умовою державних екологічних програм у розвинених країнах.

Сьогодні найбільш поширеним методом боротьби зі шкідливим впливом відвалів на навколишнє середовище є їхня рекультивация. Однак цей метод з економічної точки зору є енергетично і фінансово доволі витратним. Терикони можна розглядати як джерело цінної сировини і енергії, які можуть приносити дохід.

У процесі науково-дослідних робіт автори запропонували і запатентували технічні рішення геотехнологічної розробки відвальних масивів з отриманням енергії. Покажемо їх далі.

На забруднення повітря впливає не лише негативна дія териконів ЧГПР, але й загазованість метаном під час вуглевидобутку (табл. 7, Головне управління статистики у Львівській області, б. д.).

Таблиця 7. Динаміка викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення

| Територія | 2016 рік | 2017 рік | 2018 рік |
|---|----------|----------|----------|
| Викиди забруднюючих речовин – усього, тис. т | | | |
| Львівська область | 103,106 | 109,107 | 106,742 |
| м. Червоноград (включаючи м. Соснівка і смт Гірник) | 11,849 | 13,326 | 13,958 |
| Сокальський район (окрім м. Червоноград) | 23,476 | 24,005 | 24,012 |
| у тому числі викиди оксиду вуглецю, тис. т | | | |
| Львівська область | 6,670 | 5,394 | 5,335 |
| м. Червоноград (м. Соснівка і смт Гірник) | 0,141 | 0,104 | 0,074 |
| Сокальський район (окрім м. Червоноград) | 0,290 | 0,395 | 0,452 |
| у т. ч. викиди метану, тис. т | | | |
| Львівська область | 43,185 | 43,205 | 48,529 |
| м. Червоноград (м. Соснівка і смт Гірник) | 11,310 | 12,726 | 13,419 |
| Сокальський район (окрім м. Червоноград) | 22,037 | 22,506 | 22,224 |

Як видно з наведених даних, частка Сокальського району і м. Червоноград у сумарних викидах забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у Львівській області становить 34–36 %, у той час як за викидами метану – 73–82 %. У розрахунку на 1 км² площі щорічні викиди метану в повітря по Львівській області становлять 1,98–2,2 т/км², тоді як по Червонограду – 540–640 т/км². Тому розробка методів утилізації метановмісних сумішей залишається надзвичайно актуальною.

Одним із шляхів раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів, поряд з екологічними заходами, є залучення до паливного балансу країни так званих залишкових ресурсів палива, одним з яких можна розглядати метано-повітряну суміш з концентрацією метану 30 % і більше, що видобувається при дегазації вугільних шахт і вугільних пластів (Лизун та ін., 2001).

Видобуток метану здійснюється в процесі дегазації вугільних пластів та пропластків (Забигайло и др., 1989), чим вирішуються три важливі завдання: унаслідок зменшення вмісту метану в породах створюються безпечніші умови видобутку вугілля; зменшуються техногенні викиди метану в повітря; економіка держави отримує значну кількість висококалорійного палива.

Через зміни клімату та підвищення глобальної температури стає очевидною необхідність збільшення обсягів вилучення та використання газу-метану вугільних родовищ як енергоносія і як газу, що удвадцятьо більше, ніж вуглекислий газ, негативно впливає на повітряне середовище та сприяє посиленню «парникового ефекту». Тому успішна реалізація робіт зі створення та впровадження промислових комплексів з моніторингу та видобування шахтного метану є важливою для вугільної галузі країни.

У випадку відсутності широкорозвиненої дрібноамплітудної тріщинуватості та за підвищених колекторських властивостей пласта для збільшення ефективності видобутку газів (метану) необхідно змінювати властивості вугільного масиву, що можливо здійснити шляхом штучної дії на масив для підвищення його газопроникності. Перспективним напрямком інтенсифікації процесу дегазації метану з газонасичених вугільних пластів є штучне підвищення проникності привибійної зони дегазаційних свердловин. Для цього пропонується глибоке дренажування газонасичених вугільних пластів з допомогою спеціальної апаратури шляхом створення системи різноспрямованих радіальних каналів безпосередньо із привибійної зони дегазаційної свердловини, пробуреної з поверхні.

Перевагами цього способу дегазації вугільних пластів є (Брик та ін., 2010):

- можливість створення дренажних каналів у пластах та їхніх супутниках на різних рівнях і відтак фізико-хімічний вплив на них;

- відсутність змикання утвореного каналу під дією гірничого тиску (що має місце при гідророзриві пласта), оскільки порожнини каналу утворюються не через підняття порід, що лежать вище, а шляхом розмивання та виносу їхніх часток на поверхню;

- інтенсифікація процесу дегазації порід, що містять метан.

Аналіз відомих конструкцій апаратів для створення радіальних каналів у пласті (Степанчиков и др., 1990; Скіра та ін., 1999) показує, що найбільш перспективними для глибокого дренажування вугільних пластів з метою їхньої дегазації є свердловинні гідромонітори, у яких робоча частина виконана

у вигляді гнучкої трубки (зонда), яка вводиться в канал на достатню відстань, що забезпечує ефективну дію на зони пласта, віддалені від свердловин. Під дією тиску рідина, яка нагнітається в надпоршкову порожнину циліндра, просуває поршень донизу і виштовхує гнучкий зонд у пласт.

Деякі гідромонітори можуть використовуватися лише у свердловинах з відкритими вибоями, тобто, у таких дегазаційних свердловинах, у яких уже на стадії буріння заплановано проведення дренажу вугільного пласта і його пропластків. Для дегазаційних свердловин, вибої яких закриті обсадними трубами, виникає задача проведення гідроперфорації трубної колони на вибої, і тоді процес дренажу пласта значно ускладнюється. Це зумовлено тим, що в стінці обсадної труби попередньо необхідно зробити отвір достатнього розміру для наступного введення зонда в пласт, а потім проводити створення дегазаційного каналу шляхом гідравлічного розмивання вугільної породи. Крім того, обидві стадії процесу варто провести за один спуск колони труб таким чином, щоб виконаний отвір в обсадній колоні знаходився навпроти вихідного кінця каналу відхилювача.

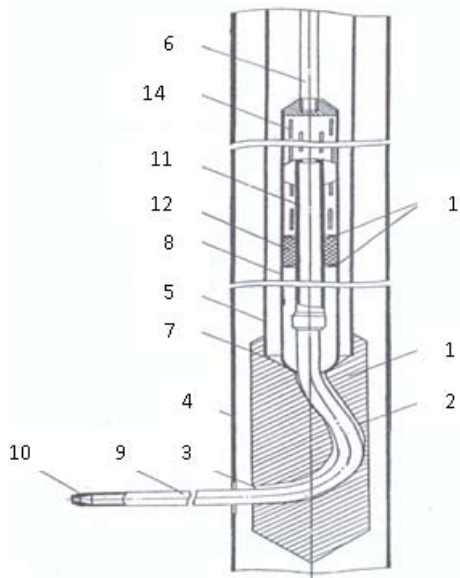


Рис. 2. Свердловинний гідромонітор для утворення каналу у вугільному пласті

На рис. 2 показано один із гідромоніторів у режимі проходки дегазаційного каналу у вугільному пласті (Брык и др., 2000; Наливайко та ін., 2001; Степанчиков та ін., 2001), який складається з відхилювача (1) із прямою канавкою (2) та отвором (3). Відхилювач (1) спущений усередину перфорованої обсадної колони (4) на колоні труб (5). Усередину труб (5) на штангах (6) до посадкового гнізда (7) спускається контейнер (8) для висування зонда (9).

Контейнер висування зонда (9) належить до гідроприводів плунжерного типу, у яких можливість повздовжнього пересування зонда (9) із соплом (10) на кінці забезпечується наявністю порожнистого плунжера (11) із прорізами (14), який герметизується ущільненням (12), що встановлюється на перегородці (13) контейнера (8). До плунжера (11) у його нижній частині під'єднано гнучкий зонд (9). Конструкція цього апарата дозволяє створити з однієї свердловини розгалужену мережу різнонаправлених каналів у вугільному пласті для інтенсифікації процесу його дегазації. Крім того, застосування свердловинних гідромоніторів дозволить інтенсифікувати відомі фізико-хімічні способи впливу на вугільний пласт, що будуть проводитися після утворення дегазаційних каналів.

Ми вже згадували, що в породних відвалах міститься значна кількість вугілля, що вказує на доцільність дорозробки, вилучення з відвалу вугілля, особливо сапропелітового, як цінної хімічної та енергетичної сировини

(Павлюк та ін., 2019). Крім того, нагрітий унаслідок горіння порід техногенний масив можна розглядати як об'єкт для вилучення з нього тепла. Приклади технічних рішень наземного перероблення твердої вуглецевмісної сировини відвалів та шламів Червоноградської ЦЗФ наводимо далі.

Розглянемо приклад реалізації способів термохімічного перероблення сапропелітового вугілля, відібраного з терикона.

У вертикальний газогенератор (внутрішній діаметр 0,25 м, висота 2,5 м) завантажують зверху високозольне паливо, до прикладу, сапропелітове вугілля (шматки розміром 10–70 мм), з такими якісними показниками, %: $W^a - 1,1$; $A^d - 49,1$; $V^{daf} - 40,9$; $S^d - 0,6$; $C^{daf} - 76,2$; $H^{daf} - 5,4$; $N^{daf} - 0,4$ (рис. 3).

Після заповнення на всю висоту газогенератора, з допомогою пальника або електронагрівача повітря, у його нижній частині розігрівають шар палива висотою 0,4 м до 650–670 °С. Відтак пальник відключають і в піч знизу подають повітря в кількості 30–40 м³/год до досягнення температури в зоні газифікації 1100–1200 °С. Зону горіння «пересувають» догори доти, поки зона піролізу з температурою 400–450 °С не досягне газоходу для відбору парогазових продуктів, які характеризують за показниками термопар.

Після виведення процесу на стаціонарний режим проводять відбір парогазових продуктів із зони піролізу шляхом їхнього відсмоктування, створюючи цим понижений тиск 0,06–0,1 МПа. Далі з газогенератора видаляють зольний залишок, одночасно завантажуючи 20–25 кг/год вугілля. Температуру 400–450 °С у зоні піролізу підтримують з допомогою регулювання дугтя і швидкості опускання шару вугілля, що переробляють. Отримані парогазові

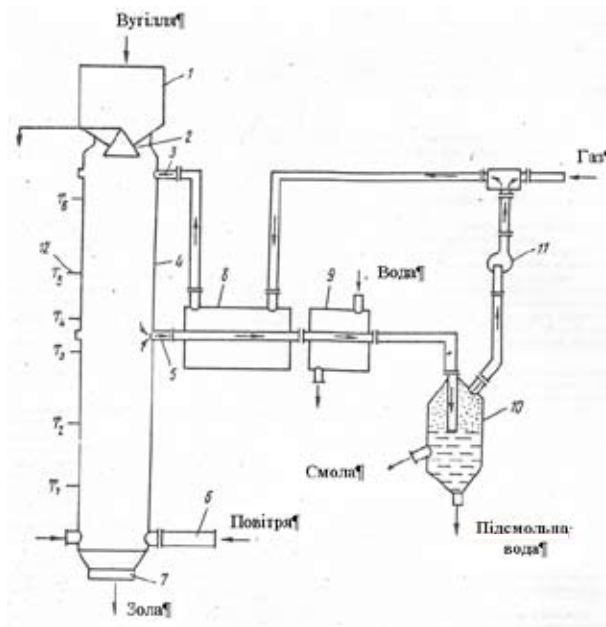


Рис. 3. Схема установки для термічної переробки високозольного палива (Чекалюк и др., 1989):

1 – бункер; 2 – завантажувальний пристрій; 3, 5 – газохід; 4 – газогенератор; 6 – пальник для розігріву палива; 7 – розвантажувальний пристрій для вивантаження золи; 8 – теплообмінник; 9 – холодильник; 10 – сепаратор; 11 – відсмоктувач газоподібних продуктів піролізу; 12 – термопарі для вимірювання температури по висоті печі

продукти ($\approx 75\text{--}80 \text{ м}^3/\text{год}$) пропускають через теплообмінник, холодильник і сепаратор, відокремлюючи в останньому смолу від газу, який в основному складається з CO , H_2 , CH_4 , CO_2 , N_2 . Частина ($40\text{--}45 \text{ м}^3$) сухого газу, який містить водень, охолодженого до $\approx 35\text{--}40 \text{ }^\circ\text{C}$, повертають у теплообмінник, де він, забираючи тепло від гарячої парогазової суміші, нагрівається до $300\text{--}325 \text{ }^\circ\text{C}$. Підігрітий інертний і водневмісний газ вводять у завантажувальну зону печі, тобто в зону сушіння.

Унаслідок термічної переробки загальний вихід смоли із зони піролізу з температурою $400\text{--}450 \text{ }^\circ\text{C}$ за тиску в печі $0,06 \text{ МПа}$ становитиме приблизно 18% від ваги завантаженого вугілля або $\sim 36 \%$ на горючу масу за питомої маси смоли $\approx 0,883 \text{ г/см}^3$.

На рис. 4 схематично зображено технологічну схему реалізації способу комплексної наземної термохімічної переробки вугільного шламу (Гвоздевич та ін., 2019), де показано трубчастий реактор (1) для отримання водневмісного синтез-газу $\text{CO} + \text{H}_2$.

Цей спосіб містить дві стадії. Перша стадія – отримання водневмісного синтез-газу $\text{CO} + \text{H}_2$ із водовугільної пульпи в трубчастому реакторі (1), друга – уведення частини отриманого газу у вертикальний шахтний реактор-газифікатор (3) кускового вугілля, для отримання смоли та збагаченого метаном газу.

На першій стадії вугільну пульпу (шлам дрібного вугілля з водою у співвідношенні $1 : 1$) подають у трубчастий реактор (1), у якому залежно від термобаричних параметрів проходять хімічні реакції з утворенням метану і водневмісного синтез-газу, який на виході після «гартування» відбирають для цільового використання, а іншу його частину розділяють на два потоки (2) та направляють у вертикальний шахтний реактор-газифікатор (3) кускового

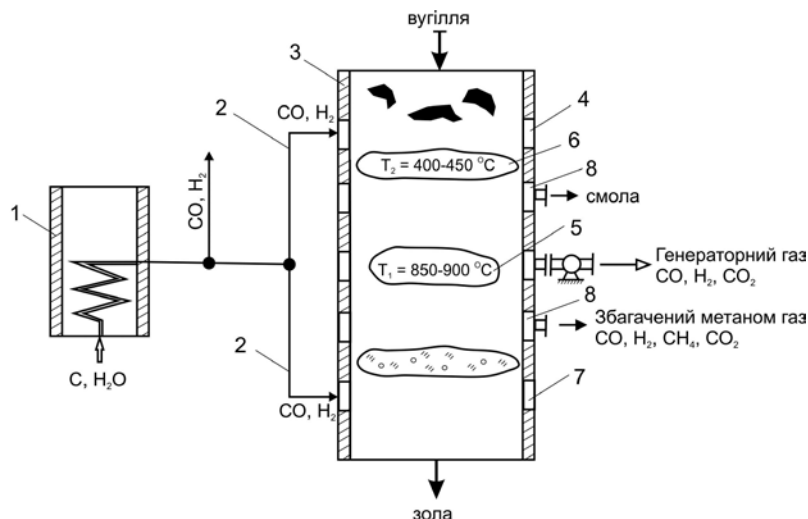


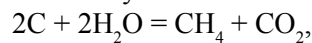
Рис. 4. Схема реалізації способу комплексної двостадійної наземної термохімічної переробки вугілля:

1 – реактор синтез-газу; 2 – технологічна лінія розділення потоків; 3 – реактор-газифікатор; 4, 7 – колектори подачі синтез-газу; 5 – зона горіння; 6 – зона піролізу вугілля; 8 – колектор відводу газу

вугілля. У реакторі (3) процес горіння організують таким чином, що зону горіння (5) із температурою $T_1 = 850\text{--}900\text{ }^\circ\text{C}$ створюють у середній частині реактора (3), над якою розташована зона (6) піролізу з температурою $T_2 = 400\text{--}450\text{ }^\circ\text{C}$. Відтак один потік $\text{CO} + \text{H}_2$ рівномірно подають через перфорований колектор (4) вище зони (6) піролізу, у якій утворюються парогазові смоляні продукти, збагачені CO та H_2 . Парогазові смоляні продукти відводять через колектор (8), а далі – через теплообмінник і сепаратор смоли, як у способі-прототипі. При такому «збагаченні» отримують якісніший склад вугільної смоли для подальшого виробництва паливних та паливно-мастильних продуктів завдяки присутності в отриманій смолі більшої кількості низькокиплячих фракцій та зменшенню вмісту ароматичних вуглеводнів.

Крім того, другий потік (2) водневмісного газу подають через колектор (7) у зону розжареного до температури $850\text{--}900\text{ }^\circ\text{C}$ вугілля, у якій при системі елементів C , CO , H_2 за певних термобаричних умов синтезується газ із підвищеним вмістом метану. Збагачений метаном газ відводять через колектор (8) для споживача або домішують його частину до газу, який отримують із середньої частини шахтного реактора-газифікатора (3), при цьому частину збагаченого метаном газу можна вводити додатково до потоків (2) для стимулювання процесу отримання більш якісного складу цільової смоли.

На рис. 5 зображено технологічну схему способу (Гвоздевич, Брик, Подольський та ін., 2018) термохімічної переробки відходів вуглевидобутку, до прикладу, шламів Червоноградської ЦЗФ. Цей спосіб реалізують таким чином. Вугільну пульпу (шлам дрібного вугілля з водою у співвідношенні 1 : 1), приготовлену у вузлі (1), подають у рекуператор (2), а відтак – у реактор-газифікатор (4), у якому залежно від термобаричних параметрів проходять хімічні реакції з утворенням метану:



або з утворенням «водяного газу»:

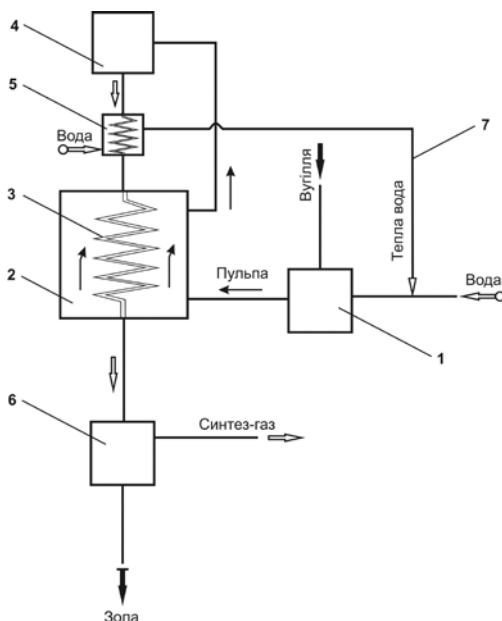
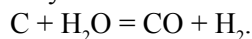


Рис. 5. Блок-схема способу термохімічної переробки шламових відходів вуглевидобутку:

1 – вузол приготування вугільної пульпи; 2 – рекуператор; 3 – газохід; 4 – реактор-газифікатор; 5 – водяний теплообмінник; 6 – вузол для очищення газів; 7 – технологічна лінія для відведення теплої води

Після виходу газів із зони реакції їх подають у протиточний водяний теплообмінник (5), де проводять різке охолодження – «гартування» – утвореного синтез-газу. Далі загартований газ через трубчастий елемент – газохід (3), надходить у рекуператор (2), нагріваючи в ньому водовугільну пульпу, яка в підігрітому стані вводиться в зону реакції газифікатора (4). Із камери гартування теплообмінника (5) підігріта газами вода по технологічній лінії (7) надходить регульовано у вузол (1) приготування водовугільної пульпи.

На рис. 6. схематично зображений трубчастий реактор (розріз) для газифікації вугільної пульпи (Гвоздевич, Брик, Бучинська та ін., 2018).

Трубчастий реактор для газифікації вугільної пульпи працює в такий спосіб. Вугільну пульпу (шлам дрібного вугілля з водою тощо) за заданого високого тиску подають у зону рекуперації рекуператора (1), у якій у дво-західному спіральному трубчастому елементі (3) проходить хімічна реакція ($2C + 2H_2O = CH_4 + CO_2 - 93 \text{ кДж/моль}$), до прикладу, за температури $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ та тиску 40 МПа . Температура в зоні реакції підтримується з допомогою теплокомпенсувального елемента (6). Після виходу газів із зони реакції їх подають через газовідвідний змійовик (8) у вузол (7) гартування, вмонтований навколо корпусу (5). У теплообміннику (7) водою різко охолоджують змійовик (8) з отриманими газами. При реалізації іншого процесу газифікації вугільної

пульпи, коли цільовим продуктом буде синтетичний газ $CO + H_2$, для запобігання процесам деструкції та стабілізації складу газу останній різко охолоджують до температури $320 \text{ }^\circ\text{C}$, проти $1000\text{--}1200 \text{ }^\circ\text{C}$ у зоні реакції навколо нагрівача (6).

Одним із найбільш перспективних, екологічно чистих та доступних джерел низькопотенційної теплової енергії для систем теплоохолодження будівель та споруд є тепло техногенних масивів (вугільних відвалів, полігонів твердих побутових відходів тощо).

Вугільний відвал – це тепловий акумулятор доволі великої ємності, який акумулює не тільки енергію Сонця, але й енергію горіння вуглистих порід. Температура від горіння відвалів досягає в них надзвичайно високих значень ($1200 \text{ }^\circ\text{C}$), що спричиняє навіть утворення нових мінералів (один із них названий на честь співробітника Інституту Б. І. Сребродольського («сребродолітом»), який показав, що такий мінерал був утворений у териконі, який горів, за температури вищої, ніж $1400 \text{ }^\circ\text{C}$). На відвалах, які експлуатуються або

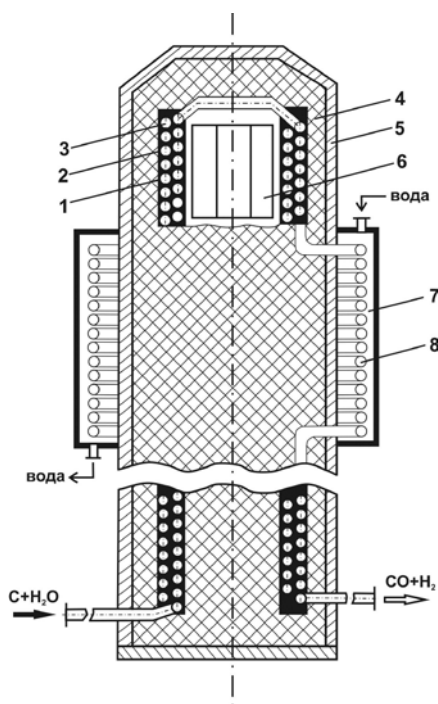


Рис. 6. Трубчастий реактор газифікації вугільної пульпи:

1 – рекуператор; 2 – теплопровідний масив; 3 – двозахідний спіральний трубчастий елемент; 4 – теплоізоляційний матеріал; 5 – корпус; 6 – нагрівач із здавачем; 7 – вузол різкого охолодження газів; 8 – змійовик

підлягають консервації, часто їхні поверхні ізолюють шаром глини, яку засипають родючим шаром ґрунту.

Система збору тепла вугільного відвалу являє собою реґістр труб, якими циркулює теплоносія, здійснюючи відбір тепла, яке накопичив відвал, та відвід теплоносія до споживача. Енергія, яку споживають, компенсується тепловими надходженнями з масиву, і це дозволяє тривалий час використовувати відвал (терикон) як джерело низькопотенційного тепла для випарювачів теплонасосних систем опалювання. Використання тепла відвалу як низькопотенційного джерела теплової енергії для теплонасосних систем теплохолодопостачання (ТХП) дозволяє отримати від 2,5 до 3,5 кВт корисного тепла на 1 кВт витраченої енергії (Гвоздевич та ін., 2016). Отже, система збору тепла ґрунту являє собою дільницю теплозбору із заглибленим у ґрунт реґстром труб ґрунтового теплообмінника з такими основними елементами:

- відвальний масив дільниці збору тепла;
- реґістр труб відвального теплообмінника;
- насос для вимушеної циркуляції теплоносія теплообмінника;
- ділянка теплотраси, яка сполучає систему теплозбору з випаровувачем теплонасосної системи ТХП.

На рис. 7 наведено схему системи для утилізації тепла масиву (Гвоздевич та ін., 2007; Бучинська та ін., 2011) вугільного відвалу, породи якого закладовано у вироблений кар'єр.

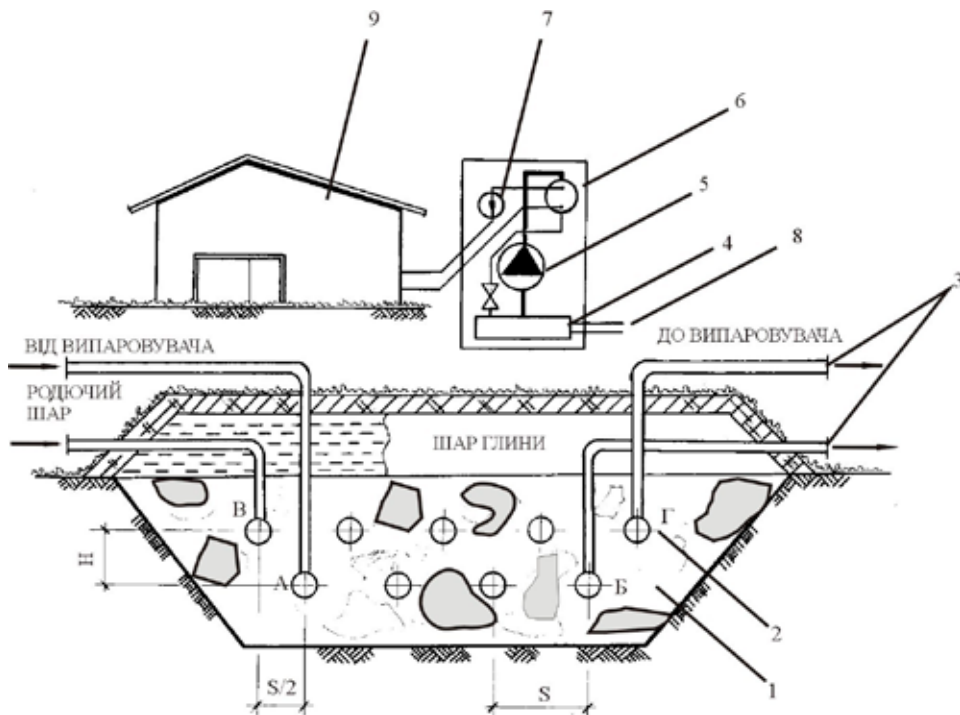


Рис. 7. Система для утилізації тепла масиву вугільного відвалу:

- 1 – вугільний відвал; 2 – труби теплообмінника, розміщені на різних рівнях – АБ і ВГ; 3 – вихідні патрубки колектора; 4 – випаровувач теплопомпової системи (ТПС); 5 – компресор ТПС; 6 – конденсатор ТПС; 7 – циркуляційна помпа; 8 – теплотраса; 9 – споживач

Працює система у такий спосіб.

При формуванні вугільного відвалу у відпрацьований кар'єр вибирають ділянку АБ збору тепла з масиву (1) та розміщують труби (2) (до прикладу, гнучкий поліетиленовий шланг) колектора теплообмінника. Крок S між ними розраховують залежно від температурних умов масиву (1) та вибирають також з умови виключення взаємного теплового впливу сусідніх труб (2). У міру складування вугільних відходів на вищому рівні ВГ у масиві (1) формують адекватний теплообмінник, труби (2) якого зміщують на відстань, рівну півкрокові $S/2$ між трубами (2), що виключає взаємний тепловий вплив сусідніх труб (2). Крім того, встановлюють додатково кожний теплообмінник, що розміщений на різних рівнях масиву (1), виконаний у вигляді модульної системи та працює незалежно один від одного. Характерне розміщення труб дозволяє максимально охопити масив процесом збору тепла. Отже, формування багаторівневої системи збору тепла з масиву вугільних відходів підвищує ефективність процесу утилізації тепла. Розміщення теплообмінників у масиві (1) виконують як плоскопаралельним, так і плосконахиленим, витримуючи в останньому випадку також вищезазначені умови розміщення труб (2).

Після закладки труб (2) колектора під'єднують ділянку теплотраси до теплопомпової установки, яка через необхідні технологічні комунікації підключена до споживача (9).

Під час пароутворення теплоносії забирає тепло від масиву (1) відходів, який має більшу температуру (30–80 °С), унаслідок теплоти, що утворюється в масиві (1) при samozапалюванні порід та нагріванні під впливом сонячної енергії. Теплоносії потрапляє в компресор (5), де пари фреону стискаються та нагнітаються в конденсатор (6). При стисканні температура і тиск теплоносія підвищуються, відтак тепло передається вторинному теплоносієві, до прикладу, воді, змішаній з гліколем, що циркулює з допомогою помпи (7) вимушеної циркуляції по трубах (2) теплообмінника та подається споживачеві (9), до прикладу, для підігріву ґрунту в теплиці неподалік від системи збору тепла.

Техніко-економічні переваги такого технічного рішення очевидні, оскільки після дегазації вугільного відвалу (Гвоздевич та ін., 2007) та при використанні системи збору/утилізації тепла техногенного масиву (Гвоздевич та ін., 2003; Гвоздевич, 2008) зникають витрати на проведення додаткових заходів на рекультивацию території виробленого кар'єру.

Висновок. Впровадження інноваційних технологій рекультивации вугільних відвалів (териконів) зменшуватиме забруднення атмосфери та позитивно впливатиме на декарбонізацію екології регіону. Тому якнайшвидше необхідно розпочати складання технічних проектів на будівництво та обладнання експериментальних ділянок при ДП «Львіввугілля» для відпрацювання, випробування та впровадження інноваційних технологій. Це є актуальним не тільки для прикордонного регіону, але й України загалом в контексті концепції сталого розвитку. Представлені дослідження проведені шляхом вивчення, аналізу та узагальнення даних копалень ДП «Львіввугілля», виконаних польових і лабораторних робіт. Висновки та рекомендації базуються на підсумкових результатах, отриманих на підставі проведених досліджень.

- Брик, Д. В., Павлюк, М. І., Гвоздевич, О. В. (2010). Геотехнологія дегазації метану вугільних пластів з використанням свердловинних гідромоніторів. *Уголь України*, 11, 42–45.
- Брик, Д. В., Гвоздевич, О. В., Наливайко, Я. М., Стефанік, Ю. В., Степанчиков, А. Е. (2000). Извлечение метана угольных месторождений с использованием скважинного гидроруба. *Геотехническая механика*, 17, 95–99.
- Бучацька, Г., Дворянська, Н., Дворянський, А., Дяків, В. (2014). Мінеральний склад відходів видобутку і збагачення вугілля, їхні екзогенні зміни та вплив на природні води за результатами гідроекологічного моделювання (Червоноградський гірничопромисловий район). *Мінералогічний збірник*, 64 (2), 176–194.
- Бучинська, А. В., Гвоздевич, О. В., Кульчицька-Жигайло, Л. З. (2011). Загальні положення оцінки ефективності систем збору низькопотенційного тепла масивів. В *Сталій розвиток територій: енергія, вода, відходи, рекультивация: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції (Львів–Рудно, 6–8 квітня 2011 р.)* (с. 184–192). Львів: Тріада-плюс.
- Волотковская, Ю. А. (2015). Обоснование направления капиталовложений при утилизации террикона с использованием ранга токсичности. *Економічний простір*, 100, 232–241. http://nbuv.gov.ua/UJRN/escpro_2015_100_23
- Гвоздевич, О. В. (2008). Деякі технічні рішення для технології рекультивациі Львівського полігону твердих побутових відходів. В *Полігони твердих побутових відходів: проектування та експлуатація, вимоги Європейського Союзу, Кіотський протокол: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції (Славське, 16–18 квітня 2008 р.)* (с. 51–66). Львів: Тріада-плюс.
- Гвоздевич, О. В., Брик, Д. В., Бучинська, А. В., Подольський, М. Р., Кульчицька-Жигайло, Л. З. (2018). Патент на корисну модель № 129618, Україна. Трубочастий реактор газифікації некондиційних твердих горючих копалин. *Бюл.*, 21.
- Гвоздевич, О. В., Брик, Д. В., Подольський, М. Р., Бучинська, А. В., Кульчицька-Жигайло, Л. З. (2018). Патент на корисну модель № 124857, Україна. Спосіб термічного перероблення відходів вуглевидобутку. *Бюл.*, 8.
- Гвоздевич, О. В., Брик, Д. В., Хоха, Ю. В., Любчак, О. В. (2019). Патент на корисну модель № 131556, Україна. Спосіб комплексної двостадійної наземної термохімічної переробки вугілля. *Бюл.*, 2.
- Гвоздевич, О. В., Павлюк, М. І., Стефанік, Ю. В., Шведенко, Г. В. (2007). Патент на корисну модель № 70030, Україна. Спосіб рекультивациі відпрацьованого кар'єру. *Бюл. Пром. власн.*, 3.
- Гвоздевич, О., Подольський, М., Кульчицька-Жигайло, Л. (Уклад.). (2016). *Інноваційне використання місцевих енергетичних ресурсів*. Львів: Тріада плюс.
- Гвоздевич, О. В., Стефанік, Ю. В., Брик, Д. В., Прокопенко, Я. П., Горбаль, Б. М. (2003). Декларациійний патент на винахід UA № 57322. Пристрій для дегазації техногенного масиву. *Бюл. Пром. власн.*, 6.
- Головне управління статистики у Львівській області. (б. д.). *Банк даних*. Державна служба статистики України. Взято 15.07.19 з http://database.ukrcensus.gov.ua/statbank_lviv/Database/24PRYRODA/databasetree_uk.asp
- ДНВП «Геоінформ України». (б. д.). *Інтерактивна карта родовищ корисних копалин*. Взято 15.07.19 з <http://geoinf.kiev.ua/wp/interaktyvna-karta-rodovyshch-korysnykh-kopalyn.htm>
- Забигайло, В. Е., Васючков, Ю. Ф., Репка, В. В. (1989). *Физико-химические методы управления состоянием угольно-породного массива*. Киев: Наукова думка.
- Іванов, Є., Яцух, О., Лобанська, Н. (2010). Геохімічне забруднення ґрунтів підприємствами вугільної промисловості (на прикладі шахти «Зарічна»). *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені В. Гнатюка. Сер. Географія. Спеціальний випуск. Стале природокористування: підходи, проблеми, перспектива*, 1 (27), 241–245.

- Книш, І. Б. (2008). Геохімія мікроелементів у породах терикона шахти Візейська Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. *Вісник Львівського університету. Сер. геологічна*, 22, 58–71.
- Книш, І., Карабин, В. (2010). Геохімія мікроелементів у породах терикону копальні Межирічанська Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 3–4 (152–153), 85–101.
- Лизун, С. О., Іванців, О. Є., Дудок, І. В. та ін. (2001). Закономірності розподілу метану у кам'яновугільних басейнах України та перспективи його видобутку і використання. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 2, 122–127.
- Міністерство енергетики та захисту довкілля України. (б. д.). *Вугільна промисловість*. Взято 15.07.19 з http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=194359
- Наливайко, Я. М., Степанчиков, О. О., Стефанік, Ю. В., Брик, Д. В., Гвоздевич, О. В. (2001). Деклараційний патент України № 37584. Свєрдловинний гідромонітор. *Бюл.*, 4.
- Павлюк, М. І., Хоха, Ю. В., Брик, Д. В., Яковенко, М. Б. (2019). Сапропелітове вугілля заходу України як потенційне джерело енергетичної та хімічної сировини. В *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: VI Міжнародна науково-практична конференція (Трускавець, 8–10 жовтня 2019 р.)* (с. 307–311). Київ.
- Рудько, Г. І., Бондар, О. І. (Ред.). (2016). *Екологічна безпека вугільних родовищ України*. Київ; Чернівці: Букрек, 12–17.
- Скіра, В., Тімофєєв, І., Стефанік, Ю., Степанчиков, О., Брик, Д. (1999). Апаратура для глибокого дренажування. В *Поступ в нафтогазопереробній і нафтохімічній промисловості: тези доповідей II науково-технічної конференції (Львів, квітень 1999 р.)* (с. 60). Львів.
- Степанчиков, А. Е., Гвоздевич, О. В., Башіров, В. В., Темнов, Г. М. (1990). *Скважинные гидроструйные аппараты для интенсификации процесса нефтеизвлечения*. Москва: ВНИИЭНГ.
- Степанчиков, А. Е., Стефанік, Ю. В., Гвоздевич, О. В. (2001). Деклараційний патент України № 37471. Спосіб свєрдловинної гідроперфорації та пристрій для його здійснення. *Бюл. Пром. власн.*, 4.
- Чекалюк, Э. Б., Стефанік, Ю. В., Брык, Д. В. (1989). Авторское свидетельство № 1460072, СССР. Способ термической переработки высокозольного топлива. *Бюл.*, 7.
- BP Statistical Review of World Energy 2019. (2019). <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- Petlovanyi, M. V., & Medianyuk, V. Y. (2018). Assessment of coal mine waste dumps development priority. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 28–35. doi.org/10.29202/nvngu/2018-4/3

Стаття надійшла:
26.10.2019

**Dmytro BRYK, Oleg GVOZDEVYCH,
Lesya KULCHYTSKA-ZHYHAYLO, Myroslav PODOLSKYY**

**TECHNOGENIC CARBONACEOUS OBJECTS
OF THE CHERVONOHRAD MINING AND INDUSTRIAL DISTRICT
AND SOME TECHNICAL SOLUTIONS FOR THEIR USING**

Ukraine has significant coal resources. Chervonohrad Mining and Industrial District is the main coal complex in the west of Ukraine. In recent years, the average annual coal production in the mines of Chervonohrad Mining and Industrial District has amounted to 1.5 bn t, coal ash varies over a wide range of 25 to 53 %, average coal ash content of about 40 %. Coal mining has produced millions of tons of coal waste every year. Concentration of technogenic coal objects (mines, mining infrastructure, coal-mining waste dumps and wastes of coal enrichment) in a relatively small area has caused environmental degradation. Therefore, technological and environmental aspects of carbon-containing technogenic objects are particularly important and actual.

Coal-waste dumps in the territory of Chervonohrad Mining and Industrial District are characterized in detail. The dumps cover different areas – from 9–10 to 29–30 ha, the height of the dumps reaches 62 m at the mostly heights of 25–40 m. The total waste deposit in the dumps of existing mines has a volume of more than 20 million m³.

The coal wastes from Mezhyrichanskaya mine coal-waste dump was investigated to determine the suitability for thermochemical processing. Technical characteristics of taken coal-waster samples is presented.

The technogenic carbonaceous objects and the impact to the environment are evaluated.

The developed and patented technical and technological solutions for the technogenic carbonaceous objects using are considered. It is shown that the concept of industrial development of coal wastes dumps is based on two aspects – extraction of valuable mineral components and energy utilization of carbonaceous wastes of coal production. Its patented as Patents of Ukraine technological schemes for terrestrial process in of solid carbonaceous raw material from dumps and sludges with the production of coal tar and synthesis gas CO + H₂ are presented, as well as the scheme of a system for utilization of heat from coal dump.

Recommendations for the implementation of innovative technologies are based on the results of the laboratory research. The purpose of the resolution is to obtain valuable components and energy from coal wasters while improving the environment.

Keywords: coal, Chervonohrad Mining and Industrial District, coal-waste dumps, carbonaceous wastes, technological solutions, coal tar, synthesis gas.