

*О. І. Повзун, С. В. Подкопасєв,
В. І. Каменець
Донецький національний
технічний університет*

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОБЕЗПЕКИ ВУГЛЕДОБУВНИХ РЕГІОНІВ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПЛЕКСУ ПРОМВІДХОДІВ ДЛЯ ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА

Розглянута проблема підвищення екологічної безпеки територій гірничопромислового комплексу. Запропоновано розглядати горілі породи шахтних терриконів, що укріплені модифікованими відходами виробництва полістиролу кам'яновугільними в'язкими, як техногенну сировину для влаштування основ автомобільних доріг.

Ключові слова: горілі породи, кам'яновугільне в'язке, полістирольний пил, утилізація відходів.

Рассмотрена проблема повышения экологической безопасности территорий горнопромышленного комплекса. Предложено рассматривать горелые породы шахтных терриконов, укрепленные модифицированными отходами производства полистирола каменноугольными вяжущими, как техногенное сырье для устройства оснований автомобильных дорог.

Ключевые слова: горелые породы, каменноугольное вяжущее, полистирольная пыль, утилизация отходов.

The problem of increase of ecological safety of territories mining industry. Burned rocks of mine waste heaps, it is advisable to strengthen the coal tar binders that are modified waste polystyrene. Such technogenic raw materials recommended for device bases of roads.

Key words: combustion metamorphic rocks, coal tar asphalt viscous material, the polystyrene dust, waste recycling.

Постановка проблеми та її зв'язок з науковими або практичними завданнями. За останні 50 років інтенсивного індустріального розвитку Україна нагромадила на своїй території понад 25 млрд. т [7] гірничопромислових відходів, які з одного боку є небезпечними для довкілля, а з іншого – це мінерально-сировинний резерв економіки на перспективу.

Обсяги використання відходів залишаються значно нижчими реальних можливостей і, незважаючи на зростання цих обсягів, на сьогоднішній день утилізація відходів в цілому складає від 10-20% від загальної кількості утворених відходів [11], тоді як у передових країнах світу – 65-80% [8]. Не вирішується головне завдання сучасності щодо зменшення використання природних ресурсів за рахунок максимального рециклінгу відходів (повторного використання в корисних

цілях). Для цього необхідно закладати можливість утилізації матеріальних речей ще на стадії їх розробки та проектування відповідних виробництв [12].

Відходи впливають на середовище через свій хімічний або мінералогічний склад, фізичні властивості, метод формування, об'єм, кількість, площу зайнятої поверхні. Виділяють дві основні загрози, які несуть зони накопичення гірничих відходів. Перша - це хімічна, тобто витоки токсичних субстанцій, а інша загроза – це нестабільність дамбосховищ або звалищ [13]. Поверхневі води, що піддані впливу гірничодобувної діяльності, можуть становити небезпеку з погляду на повільні чи раптові зміни рівня води або з погляду на забруднення [14].

Отже, захист екосистем гірничопромислових комплексів від забруднення є актуальною науково-прикладною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Типовими великотоннажними відвалами промислових відходів у Донецькому регіоні є терикони вуглевидобутку і вуглезбагачення; ними представлено 80% відвалів промислових відходів [1]. Кожний з них займає площу від 2 до 10 га, має висоту 50-100 м, кут укосу до 40° [15]. Близько 30% шахтних териконів є палаючими, які сприяють значній зміні складу атмосферного повітря й випаданню кислотних дощів [2].

За браком кисню в осередках горіння в парогазових викидах містяться сірководень, вуглеводні, аміак, оксид вуглецю, сірчана кислота (сульфат-іон), вуглекислота, діоксид азоту (нітрат-іон) тощо, які в десятки разів перевищують допустимі норми [16]. Наприклад, лише від чотирьох палаючих та двадцяти згаслих породних відвалів шахт ПАО «Лисичанськвугілля» до атмосферного повітря щорічно надходить 833,0 тис. т забруднюючих речовин, в тому числі 43,0 тис. т CO; 777,0 тис. т CO₂; 9,6 тис. т SO₂; 2,8 тис. т H₂S; 0,68 тис. т NO₂ [6].

Токсичними і екологічними небезпечними елементами є уран, ртуть та миш'як. З надр України щороку виймається понад 1,5 млрд. т гірської породи, 60-70% якої (після вилучення корисних компонентів) направляється у відвали, що, безумовно, створює суттєву екологічну напругу. Кожного року для розміщення відвалів відводиться до 1,5-2,0 тис. га сільськогосподарських земель [19]. З кожного гектара поверхні молодих відвалів щорічно виноситься за межі цих земель від 200 до 500 т пилу. Площа запилення становить 500 га на 1 га відвальної поверхні [4].

Просідання земної поверхні по Донецькому басейну в середньому коливається в межах від 1,5 до 2,5 м, внаслідок чого сформувалася регіональна депресійна воронка глибиною 25-40 м [5]. З просіданням земної поверхні тісно пов'язані процеси затоплення і підтоплення територій, які супроводжуються руйнуванням будівель і споруд, порушенням умов гідрогеології регіону.



Рис. 1. Тліючі шахтні відвали

Дослідженнями [18] встановлено, що при тривалому самонагріванні відвальної породи в ній утворюються сірчаноокислі зони, які містять відбілену безструктурну гірничу масу та сірчану кислоту, що димить на повітрі (рис. 1).

Санітарно-захисна зона для породних відвалів має становити 500 м, але в більшості випадків житлова забудова знаходиться на відстані 50-100 м від териконів. Підвищений рівень забруднення атмосферного повітря призводить до захворюваності населення хворобами

органів дихання, крові, кровотворних органів тощо.

Екологічний стан територій, на яких відбувається складування відходів, безпосередньо, пов'язаний з реальною небезпекою вторинного забруднення довкілля за рахунок процесів розсіювання компонентів, які здатні вилуговуватись з відходів природними і техногенними водами [24]. Підвищення об'єму розчинника, який діє на породу, призводить не тільки до підвищення солей, що вилуговуються, але й викликає зміну їх якісного складу; у водній фракції зростає вміст карбонат-іонів [3].

За рівнем рН відвальні породи оцінюються як сильноокислі, в яких хімічні елементи марганець, цинк, хром, свинець та інші знаходяться у формах, доступних рослинам, а їх концентрація досягає токсичного рівня [10].

Великотоннажна переробка шахтних териконів можлива лише в галузі дорожнього будівництва або виробництва будівельних матеріалів [20, 21].

В основах дорожнього покриття відоме застосування неукріплених органічними в'язучими речовинами відвальних горілих порід [17, 25]. Але такі конструктивні шари недовговічні через низький опір зсувові (пухкий незв'язаний матеріал). Відоме також улаштування горілопородних щебневих шарів, оброблених кам'яновугільними дьогтями, які за фізико-механічними властивостями суттєво поступаються нафтовим бітумам: мають невисоку в'язкість, низьку температуру розм'якшення (5-31°C), високу температуру крихкості (до мінус 5°C), вузький інтервал пластичності (різниця між температурою розм'якшення і температурою крихкості) – менше за 40°C, низькі когезію, що характеризує опір шарів фізичного тіла переміщенню одне відносно одного на молекулярному рівні, і теплостійкість, схильність до інтенсивного старіння (втрата маси речовини після її прогріву при температурі 110°C впродовж чотирьох годин), але не мають еластичності (здатність до відновлення початкових розмірів і форми при розвантаженні після значної деформації). Не останню роль відіграє більш висока летючість дьогтів і, як наслідок, більша токсичність і помітніше забруднення навколишнього середовища під час виробництва й використання дьогтебетонів. Одним з ефективних способів поліпшення якості кам'яновугільних в'язучих є введення до їх складу полімерів, що суміщаються з ними.

Мета статті – зниження рівня екобезпеки у вугледобувних регіонах шляхом використання горілих порід шахтних териконів, що укріплені модифікованими полімерними відходами кам'яновугільними в'язучими, як техногенної сировини при влаштуванні основ автомобільних доріг.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як об'єкти досліджень було прийнято:

1. Горіла порода згаслого терикону шахти № 6 «Червона Зірка» (м. Донецьк).
2. Середовище, що модифікується, – кам'яновугільні дьогті, складені із середньо-температурного пеку і антраценового масла, які задовольняють вимогам ГОСТ 4641;
3. Полімер – відходи виробництва полістиролу – полістирольний пил (ПСП) – відхід хімічної промисловості; порошок білого кольору з розміром частинок меншими за $6,3 \cdot 10^{-5}$ м.

Досліджувана горіла порода добре випалена (помітна червона гама кольорів); поверхня злому гладка каменеподібна; структура щільна. В зломі грудки помітні три доволі ясно виражені зони, різні за забарвленням: в середині – зона сіро-стального забарвлення, а іноді чорного кольору; навколо неї – кільце темно-червоного кольору; і, нарешті, зовнішня поверхня – червоно-коричневого кольору. Подібне забарвлення свідчить про наявність областей різного ступеня окислення оксидів заліза, титану тощо. Хімічний склад горілої породи наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад горілої породи

Вміст оксидів, % за масою							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	інші

64,35	21,77	7,20	1,31	1,11	1,98	0,95	1,35
-------	-------	------	------	------	------	------	------

Низький вміст основних оксидів кальцію і магнію і великий – оксидів кремнію і алюмінію свідчать про кислу природу горілої породи.

Відповідно до величини модуля активності $M_a = \frac{Al_2O_3\%}{SiO_2\%} = \frac{21.77}{64.35} = 0.338$ горіла

порода належить до II класу кислих шлаків ($M_a \geq 0,33$) [22].

Для реалізації відходів у виробництві будівельних матеріалів силікатний модуль $M_c = \frac{SiO_2\%}{Al_2O_3\%}$ повинен мати оптимальні значення 1,7-3,5 [23]. В даному випадку

$M_c = \frac{64.35}{21.77} = 2.96$. Отже, дану горілу породу можна застосовувати як будівельний матеріал.

Класифікація зразків як залізистих порід (за глинисто-залізистим модулем ($M_{зл.з} = \frac{Al_2O_3\% + Fe_2O_3\%}{SiO_2\%}$)) показує, що всі зразки відносяться до

високоактивних: $M_{зл.з} = \frac{21,77 + 7,2}{64,35} = 0,45$ ($M_{зл.з}$ має бути $\geq 0,45$ [9]).

Гранулометричний склад горілої породи наведено в табл. 2. Як видно з табл. 2, в горілій породі найбільше міститься фракції 20-40 мм (17,8%), а найменше – фракції 0,315-0,63 мм (3,5%). Фізико-механічні властивості досліджуваної горілої породи наведено в табл. 3. Ефективніше використовувати горілу породу після обробки її органічними в'язучими речовинами. В даній роботі розглянута можливість її застосування в основах дорожнього покриття з укріпленням дьогтеполістирольним в'язучим.

Таблиця 2

Гранулометричний склад горілої породи

Показники	Діаметри отворів сит, мм										
	70	40	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	< 0,14
Часткові залишки на ситах, %	6,3	12,3	17,8	16,0	14,3	6,4	6,5	5,8	3,5	4,5	6,6
Повні залишки на ситах, %	6,3	18,6	36,4	52,4	66,7	73,1	79,6	85,4	88,9	93,4	100,0

Таблиця 3

Фізико-механічні властивості горілої породи

Показники	Середні значення
Дійсна густина, кг/м ³	2950,0
Середня густина грудок, кг/м ³	2075,0
Насипна густина, кг/м ³	1435,0
Водопоглинення, % за масою	4,2

Пористість, % за об'ємом	16,9
Границя міцності на стиск, МПа	39,0

Кам'яновугільні дьогті виробляють в процесі деструктивної переробки кам'яного вугілля. Їх поділяють на марки Д-1–Д-6 в залежності від їхньої умовної в'язкості в секундах, яка позначається C_{30}^5 , C_{30}^{10} або C_{50}^{10} , де 5 або 10 – діаметр стічного отвору приладу, мм; 30 або 50 – температура витікання 50 мл в'язучого на стандартному віскозиметрі, °С.

Кам'яновугільні дьогті є слабо концентрованими суспензіями α - і β -фракцій (високо конденсовані ароматичні вуглеводні, частинки вугілля, сажі – дисперсна фаза), якими є кам'яновугільний пек, в γ -фракції (багатокомпонентна суміш ароматичних і гетероциклічних вуглеводнів нейтрального, кислого та основного характеру – дисперсійне середовище), якою є антраценове масло.

Модифіковані полімером кам'яновугільні в'язучі є більш в'язкими, ніж їхні не модифіковані прототипи; мають еластичність, тріщиностійкість, широкий інтервал пластичності тощо.

Основна мета введення полімеру в органічне в'язуче – зниження температурної чутливості в'язучого, тобто підвищення його жорсткості влітку і зменшення взимку. Друга ціль – надання в'язучому еластичності. Якщо ці цілі досягнуті, то дорожньо-будівельний матеріал на основі полімер органічної в'язучої речовини має підвищену стійкість проти утворення залишкових деформацій (колій) літом та поперечних температурних тріщин зимою.

Як вихідне середовище доцільно застосовувати рідкі дьогті з умовною в'язкістю 40-100 с за C_{30}^{10} , в яких частинки дисперсної фази (α - і β -фракції) розташовані ізольовано одне від одного, внаслідок чого такі системи будуть менш чутливими до температурних змін, ніж високов'язкі дьогті. До того ж достатня кількість дисперсійного середовища (γ -фракція) в рідких кам'яновугільних в'язучих сприяє максимальній розчинності полімеру до молекулярного та надмолекулярного рівня, а також підвищеній змочуваності поверхні кам'яного матеріалу.

Необхідною умовою ефективного впливу полімеру на властивості органічних в'язучих є їхня сумісність, яка полягає у здатності полімеру розчинюватись в них. Якщо компоненти суміщаються, то під час безпосереднього їхнього контакту вони доволно диспергуються одне в одному.

Калориметричні дослідження на приладі ДАК-1 (рис. 2) в режимі сканування довели, що в діапазоні температур 110-150°С між кам'яновугільним дьогтем і полістирольним пилом (крива 3) відбувається хімічна реакція, про що свідчить виділення теплоти (+Q) в зазначеному діапазоні. Тобто, процес взаємодії кам'яновугільних дьогтів з полістирольним пилом є екзотермічним, а зазначені компоненти є сумісними.

Концентраційні залежності температури розм'якшення (рис. 3) кам'яновугільного в'язучого, модифікованого полістирольним пилом, показують, що для низької в'язкості вихідного середовища $C_{30}^{10}=47$ с та $C_{30}^{10}=100$ с (криві 1, 2) при введенні до 4% ПСП вона стрімко зростає, а при 4-6% ПСП це зростання уповільнюється.

Механізм взаємодії полімеру з органічною в'язучою речовиною полягає в тому, що набряклий в γ -фракції кам'яновугільного дьогтю він утворює у в'язучому безперервну фазу у вигляді сітки-каркасу. При 4-6% ПСП дисперсійного середовища замало для розчинності полімеру,

і його введення понад зазначеної концентрації викликає випадіння дисперсної фази у вигляді твердої фази. Розчинність полімеру у розчинниках обмежена.

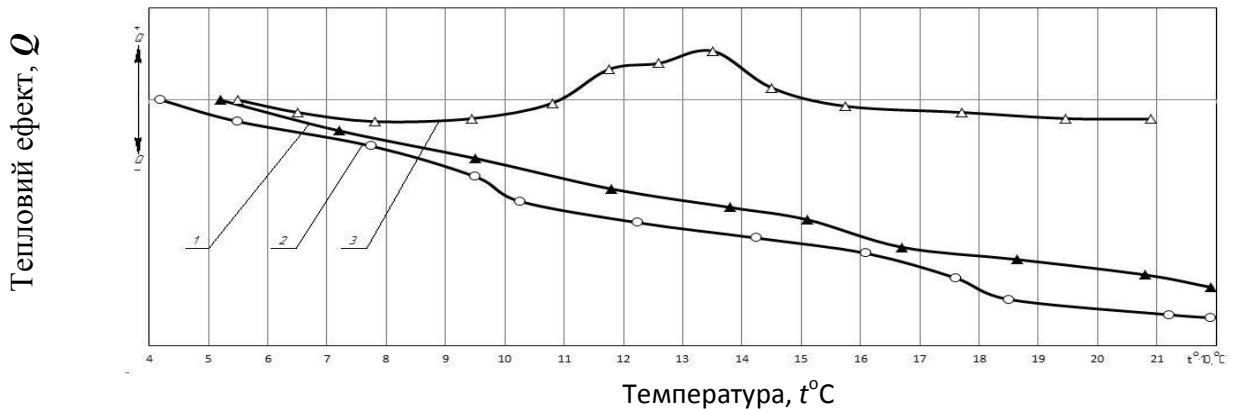


Рис. 2. Динаміка теплового ефекту Q вихідного середовища і модифікатора окремо та після їх суміщення від температури t :

В даному випадку введення ПСП у більшій кількості, ніж він може розчинитися, сприяє утворенню грубодисперсної системи, в якій під час охолодження утворюються згустки полімеру, що є непотрібним наповнювачем.

Для підвищеної в'язкості вихідного середовища $C_{30}^{10}=200$ с та $C_{50}^{10}=18$ с (див. рис. 3, криві 3, 4) таке явище спостерігається вже при 1% ПСП.

Отже, однаковий вміст полімеру в органічній речовині різної консистенції призводить до тим більшої зміни в'язкості і температури розм'якшення, чим рідше середовище, що модифікується.

Властивості модифікованих в'язучих відбиваються на механічних властивостях бетонів, мінеральною частиною яких є горілі породи шахтних териконів

Доцільно порівняти фізико - механічні властивості органогорілопородних полімер-бетонів з використанням модифікованих відходом полістиролу в'язучих однакової в'язкості (еквів'язких в'язучих), які відрізняються консистенцією вихідного середовища та, звичайно, концентрацією полістирольного пилу (наприклад, в'язкість $C_{50}^{10}=50$ с для всіх чотирьох розглянутих в'язучих, рис. 4).



Рис. 4. Діаграма для визначення еквів'язкої ($C_{50}^{10}=50$ с) концентрації C_m ПСП у в'язучому на дьогтях з вихідною в'язкістю: 1 – $C_{50}^{10}=29$ с; 2 – $C_{30}^{10}=250$ с; 3 – $C_{30}^{10}=150$ с; 4 – $C_{30}^{10}=50$ с

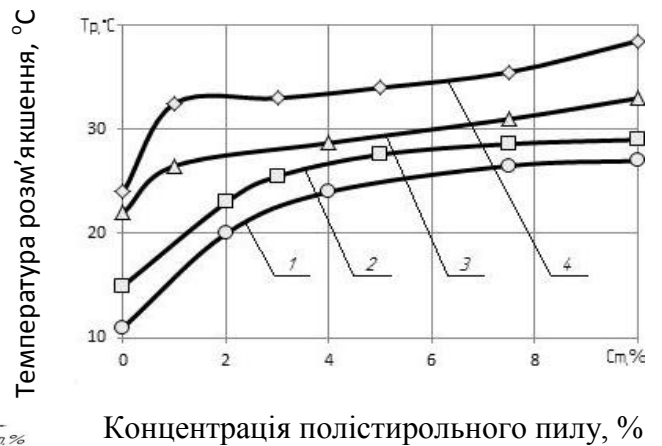


Рис. 3. Залежність температури розм'якшення T_p модифікованих кам'яновугільних в'язучих від масової концентрації C_m ПСП на дьогтях в'язкістю: 1 – $C_{30}^{10}=47$ с; 2 – $C_{30}^{10}=100$ с; 3 – $C_{30}^{10}=200$ с; 4 – $C_{50}^{10}=18$ с

Для цього на рівні в'язкості $C_{50}^{10}=50$ с (цифра 5 на осі Y) проводимо горизонтальну пунктирну лінію; в точках її перетину з кривими 1-4 (див. рис. 4); опускаємо перпендикуляр на вісь X і по стрілці графічним методом визначаємо концентрацію ПСП в залежності від в'язкості модифікованого середовища.

Отже, у кам'яновугільний дьоготь в'язкості $C_{50}^{10}=29$ с необхідно ввести 0,3% полістирольного пилу (крива 1); для в'язкості $C_{30}^{10}=250$ с – 1,8% ПСП (крива 2); для $C_{30}^{10}=150$ с – 5,0% ПСП (крива 3); а екстраполюючи праворуч вверх криву 4 до горизонтальної пунктирної лінії, дізнаємось, що для самої низької вихідної в'язкості $C_{30}^{10}=50$ с потрібно ввести 5,4% ПСП.

Експериментально було визначено міцність на стиск органогілопородних полімер-бетонів на еквів'язких кам'яновугільних в'язучих ($C_{50}^{10}=50$ с) R_0 , R_{20} , R_{50} при температурах 0°C, 20°C, 50°C відповідно, а також обчислено коефіцієнти водостійкості при тривалому водонасиченні $\frac{R_{20}^{emp.}}{R_{20}}$ (де $R_{20}^{emp.}$ – міцність на стиск органогілопородного полістиролбетону після витримування зразків у воді при температурі 20°C впродовж 14-ти діб, R_{20} – міцність зразків на стиск при 20°C до водонасичення) та коефіцієнти температурної чутливості бетонів $\frac{R_{20}}{R_{50}}$, $\frac{R_0}{R_{50}}$, $\frac{R_0}{R_{20}}$.

Як видно в табл. 4, коефіцієнти водостійкості при тривалому водонасиченні (0,65-0,68) відповідають вимогам ГОСТ 25877-83. (Смеси дегтебетонные дорожные и дегтебетон. Технические условия. Москва. Введен с 01.01.84. 13 с.) для суміші II марки (норма не менше 0,5) і майже задовольняє для суміші I марки (норма не менше 0,7).

Тривала водостійкість та температурна чутливість органогорілопородних полістиролбетонів

№ з/п	Склад модифікованих відходом полістиролу еквів'язких кам'яновугільних в'язучих умовною в'язкістю $C_{50}^{10}=50$ с в органополімер горілопородній суміші	Коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасиченні	Коефіцієнт температурної чутливості		
			$\frac{R_{20}}{R_{50}}$	$\frac{R_0}{R_{20}}$	$\frac{R_0}{R_{50}}$
1	Кам'яновугільний дьоготь $C_{50}^{10}=29$ с +0,3% полістирольного пилу	0,65	3,6	3,4	12,4
2	Кам'яновугільний дьоготь $C_{30}^{10}=250$ с + 1,8% полістирольного пилу	0,66	3,5	3,3	11,6
3	Кам'яновугільний дьоготь $C_{30}^{10}=150$ с + 5,0% полістирольного пилу	0,67	3,4	3,2	11,2
4	Кам'яновугільний дьоготь $C_{30}^{10}=50$ с + 5,4% полістирольного пилу	0,68	3,1	3,1	10,3

Зі зниженням умовної в'язкості вихідного кам'яновугільного середовища та з підвищенням концентрації відходів полістиролу в ньому коефіцієнти температурної чутливості бетонів на еквів'язких модифікованих відходами виробництва полістиролу кам'яновугільних в'язучих суттєво зменшуються, тобто такі бетони менше піддаються впливу коливань температур навколишнього середовища.

Висновки та перспективи досліджень. Горілі породи шахтних териконів становлять реальну загрозу для функціонування екосистем і є техногенними зонами підвищеної екологічної небезпеки, де весь час проявляється напружена та критична екологічна ситуація, яка нерідко переходить до стану катастрофічної.

Такі техногенні відходи, як горілі породи шахтних териконів, що укріплені модифікованими відходами виробництва полістиролу кам'яновугільними в'язучими, доцільно розглядати як альтернативний варіант поповнення природних ресурсів, а саме як техногенну сировину для влаштування основ автомобільних доріг.

Показано, що кам'яновугільні дьогті та полістирольний пил є сумісними компонентами.

Коефіцієнти водостійкості при тривалому водонасиченні органогорілопородного полістиролбетону відповідають ГОСТ 25877 для суміші II марки і майже задовольняють для суміші I марки.

Коефіцієнти температурної чутливості бетонів на еквів'язких модифікованих відходами виробництва полістиролу кам'яновугільних в'язучих суттєво зменшуються.

Внаслідок розробки териконів горілої породи (рис. 5) суттєво знижується екологічна



напруга; звільняються значні території, які можна використовувати в різних галузях народного господарства або в цілях рекреації; зменшується соціально-економічна напруженість створенням робочих місць на підприємствах з виробництва дорожньо-будівельних матеріалів.

Малов'язкі кам'яновугільні в'язучі, у яких енергія теплового руху дисперсійного середовища (γ -фракція) дорівнює або більша

Рис. 5. Розробка терикону горілої породи

за енергію зв'язку у вузлах макромолекулярної сітки, утвореної за рахунок механічного зачеплення і переплетення надмолекулярних структур полістиролу, слід зміцнювати ліофільними активними дисперсними наповнювачами.

Адсорбційна взаємодія полімерних молекул з твердими наповнювачами на границі розділу фаз має зменшити рухливість макроланцюгів, що, очевидно, призведе до зміцнення сумісно модифікованого в'язучого. Це і буде предметом подальших досліджень.

Література

1 Воробйов С. Г. Захист ландшафтів від надходження забруднюючих речовин із відвалів крупнотоннажних відходів // Екологічна безпека. Кременчук, 2010. Вип. 2(10). С. 57–61.

2 Кочура В. В., Папуа Н. В., Сорокін В. Ф. Утилізація відвалів вуглевидобутку з отриманням окатишів та аглопориту // Проблеми екології. 2010. № 1-2. С. 128–135.

3 Кроїк Г. А., Гаспарян М. К., Синицька О. Ю. Закономірності та механізм процесу сучасного вивітрювання відвальних шахтних порід як основа оцінки екологічної небезпеки територій // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2012. - № 2(6). – С. 89–92.

4 Макеєва Д. О. Екологічна небезпека породних відвалів та шляхи вирішення проблеми // Проблеми екології. 2013. № 1 (31). С. 43–48.

5 Там само.

6 Назаренко О. С., Свиридоненко Н. В. Вплив териконів ПАО«Лисичанськвугілля» на довкілля // Збірник тез допов. XIV міжнар. наук.-техн. конфер. «Проблеми екологічної безпеки». Кременчук, 2016. С.78.

7 Сивий М. Я. До проблеми утилізації гірничопромислових відходів у Вінницькій області // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2012. № 2(6). С. 84–88.

8 Сивий М. Я. До проблеми утилізації гірничопромислових відходів у Вінницькій області. С.85.

9 Скрипник Т. В. Удосконалення технологічних процесів зведення земляного полотна з відвальних горілих порід: автореф. дис. на здоб.наук. ступ. канд. техн. наук: спец. 05.22.11.– Київ, 1996. 19 с.

10 Смирний М.Ф., Зубова Л.Г, Зубов О.Р. Екологічна безпека териконових ландшафтів Донбасу. Луганськ, 2006. – 232 с.

11 Шаго Є. П., Крайнов І. П., Бондар О. І., Мальований М. С. Концепція вдосконалення сфери поводження з відходами в Україні на інноваційних засадах // Вісн. Вінницького політех. ін-ту, 2011, № 6. С. 17–19.

12 Шаго Є. П. та ін. С. 18.

13 Шкіца Л. Є. Трансформація гірничих комплексів після завершення експлуатації // Вісн.КДПУ ім. Михайла Остроградського. Кременчук, 2006. Вип. 2(37). Част. 2.С. 113–115.

14 Там само.

15 Воробйов С. Г., Кудленко В. Г. Определения удельной гамма-активности пород шахтных отвалов // Вісн.КДПУ ім. Михайла Остроградського. Кременчук, 2008.Вип. 6(53). Част. 1. С. 120–123.

16 Выборов С. Г., Проскурня Ю. А., Силин А. А. Экологические последствия структурно-вещественных преобразований отвальных пород терриконов // Наук. праці ДонНТУ: Сер. «Гірн.-геолог.». 2010. Вип. 11(161). С. 155–160.

17 Дворянова И. Н., Шафоростова М. Н. Эколого-экономическое обоснование использования породы из отвалов // Збірка допов. VI рег. конфер. «Комплексне використання природних ресурсів». Донецьк. 2013. С. 24–25.

18 Зборщик М. П., Осокин В. В. Предотвращение экологически вредных проявлений в породах угольных месторождений. Донецк, 1996. – 178 с.

19 Коваленко Л. И., Омельченко Н. П. Перспективы использования горелых пород шахтных отвалов // Проблеми екології. 2009. № 1-2. С. 16–19.

20 Коваленко Л. И., Омельченко Н. П. Перспективы использования горелых пород шахтных отвалов. С. 18.

21 Семирягин С. В., Пилипенко Б. Н. Использование отходов угледобычи при производстве огнеупоров // Гірничий вісник. Кривий Ріг. 2014. Вип. 97. С. 244–247.

22 Уханева М. И., Хоботова Э. Б. Изучение возможности применения отходов угледобычи в производстве строительных материалов // Проблеми екології. 2009. № 1-2. С. 20–27.

23 Там само.

24 Физико-химическое моделирование процесса выщелачивания нефелина под действием кислых атмосферных осадков / С. И. Мазухина и др. // Геоэкология. 1997. № 5. С. 96–101.

25 Филиппова Я. В., Ефимов В. Г. Применение перегоревших пород шахты им. Калинина для строительства дорожного полотна // Збірн. наук. праць «Екологічні проблеми паливно-енергетичного комплексу». Донецьк. 2013. С. 71–74.

© О. І. Повзун,

Надійшла до редакції 13 лютого 2017 р.

С. В. Подкопаев,

Рекомендував до друку

В. І. Каменець

докт. техн. наук Л. І. Челядин