ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕЛІ ЦИРКУЛЯРНОЇ АБО КРУГОВОЇ ЕКОНОМІКИ У ГІРНИЧОВИДОБУВНІЙ ГАЛУЗІ

Тверда О.Я., Репін М.В., Ткачук К.К., Горбачова К.Ю.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
пр. Перемоги, 37, 03056, м. Київ
tverdaya@ukr.net, rmv.kpi.iee@gmail.com,
kkttkk297@gmail.com, catgoeco@gmail.com

У зв'язку зі стрімким ростом населення на нашій планеті надзвичайно актуальним є питання задоволення попиту людей необхідними природними ресурсами. Як наслідок, зростають не тільки обсяги використання природних ресурсів, а й обсяги відходів, що накопичуються у довкіллі. Така ситуація властива й одній з найпотужніших галузей України – гірничовидобувній промисловості. Гірничовидобувна промисловість є одним із «лідерів» серед забруднювачів навколишнього природного середовища. Під час відкритої розробки родовищ забруднюється атмосфера, гідросфера та літосфера, що своєю чергою негативно впливає на прилеглі флору та фауну. Очевидно, що гірничовидобувна промисловість України потребує впровадження моделі циркулярної або кругової економіки. Метою впровадження цієї моделі є збереження продукції гірничої галузі в ланцюжку вартості протягом більш тривалого періоду часу, а також повторне використання сировини. Метою дослідження є впровадження моделі циркулярної або кругової економіки у гірничовидобувній галузі. В статті запропоновано замкнений цикл у гірничовидобувній галузі на базі вапнякових кар'єрів. Запропоновано відходи видобутку вапняку повторно використовувати для очищення викидів шкідливих газів, утворених внаслідок масових вибухів на кар'єрах, та очищення стоків, утворених внаслідок роботи гірничозбагачувальних фабрик. Зокрема, запропоновано конструкцію забійки, що передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів і базується на хемосорбції газів відходами видобутку вапняку та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами. Для нейтралізації мінеральних кислот, що містяться в стічних водах, пропонується застосовувати лужний реагент (вапняне молоко), виготовлений на основі відходів видобутку вапняку. Запропоновані рішення дозволять здійснити апсайклінг відходів видобутку вапняку. *Ключові слова:* циркулярна економіка, гірничовидобувна промисловість, природні ресурси, вапняк, відходи, гірничозбагачувальна фабрика, викиди, масовий вибух, стічні води.

The implementation of the circular economy model in the mining industry. Tverda O., Repin M., Tkachuk K., Horbachova K.

Due to the rapid population growth on our planet, it is extremely important to meet the demand of people with the necessary natural resources. As a result, not only the use of natural resources is increasing, but also the amount of waste accumulated in the environment. This situation is peculiar to one of the most powerful sectors of Ukraine – the mining industry. The mining industry is one of the "leaders" among environmental pollutants. During mining the atmosphere, hydrosphere and lithosphere are polluted, which in turn adversely affects the adjacent oases of flora and fauna. Obviously, Ukraine's mining industry needs a circular economy model. The purpose of this model is to keep mining products in the value chain for a longer period of time and to reuse raw materials. The purpose of the study is the implementation of a circular economy model in the mining industry. A closed loop in mining industry based on limestone quarries is proposed in this article. It is proposed to reuse the limestone waste to clean up the emissions caused by the mass explosions on the quarries and to clean up the effluents generated by the mining and processing plants. In particular, the design of the stemming, which involves a two-stage purification from harmful gases, formed during the explosive destruction of rocks, and is based on the chemisorption of gases by limestone waste, and physico-chemical sorption (adsorption) by zeolites, has been developed. With the implementation of the proposed design of the stemming, it is possible not only to avoid or minimize the tax for pollutant emissions, but also to increase the efficiency of the explosion of the whole structure charges. To neutralize mineral acids contained in sewage, it is proposed to use an alkaline reagent (lime milk) made from limestone waste. The proposed solutions will allow the limestone to be recycled. *Key words:* circular economy, mining, natural resources, limestone, waste, mining and processing plant, emissions, mass explosion, sewage.

Постановка проблеми. Кількість населення світу росте надзвичайними темпами, отже, сьогодні досить гостро постає питання стосовно задоволення попиту населення нашої планети на необхідні ресурси. У межах поточної економічної моделі лінійного виробництва та споживання лише невелика частина відходів використовується повторно, переробляється або продається як вторинні матеріали. Більшість же, включаючи цінні і обмежені ресурси, вивозиться на звалища або ж спалюється [1]. Не є винятком і гірничовидобувна промисловість.

Гірничопромисловий комплекс, як один із видів економічної діяльності, виступає серйозним забруднювачем навколишнього природного середовища. Відкритий спосіб розробки родовищ призводить до забруднення водного та повітряного басейнів забруднюючими речовинами, зміни, порушення структури та погіршення якості родючого шару ґрунту, до значних ландшафтних порушень. Це викликає своєю чергою загибель або деградацію рослинного та тваринного світу. Також значні земельні ділянки займаються хвостосховищами та відвалами гірських порід [2].

Безперервна інтенсифікація видобування мінеральної сировини, особливо відкритим способом, яка зумовлена використанням нової високопродуктивної техніки та технології, призвела до посилення впливу гірничовидобувних підприємств на навколишнє середовище. Тому гірнича промисловість України, зокрема відкрита розробка родовищ корисних копалин, як одна з базових галузей, які формують національний валовий дохід держави, потребує впровадження моделі циркулярної або кругової економіки. Ця модель прагне зберігати продукти та матеріали в ланцюжку вартості протягом більш тривалого періоду часу та відновлювати сировину протягом терміну експлуатації продуктів для подальшого використання [1].

Актуальність дослідження. Серед вітчизняних і зарубіжних спеціалістів, що зробили значний внесок у розвиток підходів до управління відходами гірничовидобувної галузі, слід відзначити В.П. Бобилєва, Є.П. Волинкіну, В.С. Волошина, О. Бент, Л. Белашова, С. Харічкова, З. Бройде, І. Дрозд, В. Коломієць, О. Губанова, О. Боднар, В. Винниченко, І. Корінко, Г. Доусон, О. Череп, Т.Г. Данилову, Т.В. Кожемякіну, В.Є. Лотоша, В.Л. Пілюшенка й інші [3].

Економічну ефективність комплексного використання мінеральної сировини виявляють у різних напрямках. Передусім супутнє вилучення цінних компонентів значно розширює мінерально-сировинну базу. У процесі комплексного використання мінеральної сировини створюються умови для збільшення обсягу виробництва продукції за значно менших капітальних витрат. Найсерйознішою у сучасних умовах стала проблема комплексного використання відходів гірничого виробництва, які включають розкриті породи у разі відкритого способу розробки корисних копалин і відвали порід у разі освоєння родовищ підземним способом, хвости збагачення, шлаки, шлами, золи тощо. На жаль, у господарстві використовують до 2–4% гірничопромислових відходів, хоча їх значна частина придатна для виробництва різноманітних будівельних матеріалів [4].

У передових державах світу (США, Японії, Німеччині та інші) питанням ефективного використання гірничопромислових відходів приділяють величезну увагу, у результаті чого рівень їхньої утилізації складає 65–80% [5].

У роботі [6] запропоновано технологію виготовлення будівельної продукції з відходів гірничого виробництва, утворених на каменедробильних заводах під час виробництва щебеню. Окрім того, автор [7] зазначає, що, враховуючи цінність мінеральної сировини для виготовлення щебеню, а саме наявність у її складі кремнезему, перспективним напрямом є вторинна переробка відвалів не лише на будівельну продукцію. Цінність такої сировини надзвичайно висока, оскільки кремнезем використовують для виробництва скла, сонячних батарей, радіотехнічних деталей, мікропроцесорної техніки тощо.

За результатами досліджень стану ґрунтів прилеглих до відвалів територій можна зробити висновок, що породи з високим вмістом кремнезему можуть служити основою для виробництва добрив сільськогосподарського призначення, оскільки підтверджено їх позитивний вплив на активність росту культур.

Проведені дослідження, виробничі випробування і досвід роботи низки промислових виробництв показують, що відходи видобутку і збагачення корисних копалин можуть служити сировиною для виробництва пористих заповнювачів бетонів, будівельної цегли і кераміки, штукатурних і кладочних розчинів, щебеню і інших матеріалів, що користуються великим попитом, насамперед в будівництві [8].

Однак, незважаючи на велику кількість наукових праць, проблема управління поведінкою з відходами гірничого виробництва в умовах функціонування ринкових відносин в Україні залишається актуальною й потребує подальших досліджень у напрямку мінімізації їх впливу на довкілля шляхом впровадження моделі циркулярної або кругової економіки у гірничовидобувній галузі.

Метою дослідження є впровадження моделі циркулярної або кругової економіки у гірничовидобувній галузі.

Виклад основного матеріалу. На багатьох підприємствах з видобутку та переробки вапняків досить велика частина мінеральної сировини після збагачення не використовується й вимагає витрат на її складування. Зазвичай це відходи у вигляді дрібняку. Відходи виробництва вапняків є сумішшю переподібнених вапняків фракцією 0–15 мм з піщано-глинистим матеріалом. Домішки глинистих мінералів у вапняках небажані як у металургійній, так і в будівельній промисловості. Причиною цієї проблеми є: малоефективна технологія переробки сировини; дефіцит інформації про новітні технології та устаткування переробки вапняків; висока вартість процесу.

На базі КПП ім. Ігоря Сікорського розроблено та запропоновано замкнений цикл у гірничовидобувній галузі, суть якого полягає в тому, що відходи видобутку вапняку можуть бути вторинно використані з метою очищення викидів шкідливих газів, утворених під час вибухових робіт на кар'єрах, а також з метою очищення стічних вод гірничозбагачувальних комбінатів.

Виходячи із можливого складу пилогазової хмари (CO , CO_2 , NO , NO_2) запропоновано конструкцію забійки (рис. 1), яка передбачає двостадійну очистку від шкідливих газів і базується на хемосорбції газів відходами видобутку вапняку та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами [9]. Ефективність використання розробленої забійки свердловин підтверджується наступними рівняннями:

Таблиця 1

Витрати реагентів для нейтралізації кислот

Луги	Кислота			
	сірчана	соляна	Азотна	Оцтова
Негашене вапно	0,56	0,77	0,46	0,47
	1,79	1,3	2,2	2,15
Гашене вапно	0,76	1,01	0,59	0,62
	1,32	0,99	1,7	1,62

1 – щебінка; 2 – відходи видобутку вапняку; 3 – цеоліти

Рис. 1. Конструкція забійки з двостадійною очисткою від шкідливих газів

Що стосується CO, то цей оксид є несолеутворюючим, а тому безпосередньо з CaO не реагує. Однак за умов вибуху та за наявності кисню повітря можливі такі процеси:

Таким чином, двостадійна очистка від шкідливих газів, яка базується на хемосорбції газів відходами видобутку вапняку та фізико-хімічній сорбції (адсорбції) цеолітами, може забезпечити повну хімічну нейтралізацію NO₂ і CO₂, а також нейтралізацію CO цеолітами. Окрім того, таку забійку необхідно враховувати під час вибору раціонального типу вибухової речовини для проведення підіривних робіт у конкретних гірничо-геологічних умовах. За умов впровадження запропонованої конструкції забійки можна не лише уникнути або мінімізувати податок за викиди забруднюючих речовин, але й підвищити ефективність дії вибуху зарядів суцільної конструкції.

У процесі збагачення руд поверхні мінералів окиснюються, тому в стоках знаходяться катіони кольорових металів і інші сполуки, що є результатом взаємодії реагентів з мінеральними поверхнями. В стічних водах збагачувальних фабрик можуть бути присутніми і мінеральні кислоти. Частіше в них присутня сірчана кислота, що додається у флотаційний процес як регулятор середовища. Вибір реагенту для нейтралізації кислих стічних вод та осадження металів залежить від розчинності солей, які утворюються в результаті перебігу хімічної реакції [10].

Для нейтралізації мінеральних кислот пропонується застосовувати лужний реагент, вапняне молоко, приготовлене на основі відходів видобутку вапняку. Це рішення підтверджується такими реакціями:

Кількість вапна, необхідна для оброблення стічних вод, визначається за умови повної нейтралізації кислот, які містяться в стічних водах, і приймається на 10% більше від розрахункової (табл. 1).

У табл. 1 над ризикою наведена доза реагентів у грамах на 1 г кислоти, під ризикою наведена кількість кислоти у грамах на 1 г лугів. Кількість реагентів, які необхідні для осадження металів із стічних вод, наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Витрати реагентів, необхідних для осадження металів

Метал	Витрати реагентів г/г	
	CaO	Ca(OH) ₂
Цинк	0,85	1,13
Нікель	0,95	1,29
Мідь	0,88	1,16
Залізо	1	1,32
Свинець	0,27	0,36

Такий підхід дасть змогу підвищити ефективність осадження важких металів і нейтралізації кислих стічних вод, а також допоможе вирішити проблему складування відходів видобутку вапняку.

Висновки. Розроблено та запропоновано замкнений цикл у гірничовидобувній галузі, суть якого полягає в тому, що відходи видобутку вапняку можуть бути вторинно використані з метою очищення викидів шкідливих газів, утворених під час вибухових робіт на кар'єрах, а також з метою очищення стічних вод гірничозбагачувальних комбінатів.

Література

1. Кругова економіка – що це за явище, та чому воно набирає небаченої популярності у всьому світі. URL: <https://gpp.golocal-ukraine.com/krugova-ekonomika-shho-tse-za-yavyshhe-ta-chomu-vono-nabyraye-nebachenoyi-populyarnosti-u-vsomu-sviti> (дата звернення: 23.04.2020).
2. Гінзула М. Оцінка джерел забруднення повітряного басейну викидами промислового підприємства ТзОВ «Бурдяківський спецкар'єр». *Наукові записки*. 2011. № 2. С. 196–201.
3. Павленко І. Поводження з відходами підприємств гірничо-збагачувальної галузі та їх вплив на навколишнє середовище. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*. 2012. №3 (54). С. 15–18.
4. Іванов Є.А., Біланюк В.І. Ефективність використання мінеральної сировини і гірничопромислових відходів в Україні. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: тези доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Трускавець, 5–8 жовтня 2015 р. Трускавець, 2015. С. 344–351.
5. Галецький Л., Бент О., Макогон В., Польской Ф. Техногенные месторождения Украины новый источник минерального сырья. *Геологічний журнал*. 1995. № 2. С. 17–21.
6. Стасюк С.М. Вапнічна В.В. Виготовлення будівельної продукції з відходів гірничого виробництва на прикладі МКЗД. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/6187/71.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення: 23.04.2020).
7. Тверда О. Перспективи утилізації відходів видобутку нерудних корисних копалин. *Екологія – філософія існування людства* : зб. мат. доп. VI міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 17–19 квіт. 2019 р. Київ, 2019. С. 113–115.
8. Авраменко С., Гуляєв В., Горбунов О. Атлас схем та технологій з дисципліни «Основи маловідходних технологій». URL: <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/8/6-29-mz2.pdf> (дата звернення: 23.04.2020).
9. Тверда О.Я., Пляцук Л.Д. Розробка конструкції забійки свердловинного заряду із двоступеневою системою поглинання шкідливих газів. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2018. Вип. 1/2018 (21). С. 103–115.
10. Промислова екологія. URL: http://dn.khnu.km.ua/dn/k_default.aspx?M=k1217&T=03&lng=1&st=0 (дата звернення: 23.04.2020).