

УДК 622.273.217.4

<https://doi.org/10.37101/ftpgp22.01.008>

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ ШАХТНИХ ПОРІД  
У ЗАКЛАДНИХ СУМІШАХ: ЕКОЛОГІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ  
НАСЛІДКИ**

М.В. Петльованій<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна

\*Відповідальний автор: e-mail: petlyovany@ukr.net

**INTENSIFICATION OF THE USE OF MINE ROCKS IN BACKFILL  
MIXTURES: ENVIRONMENTAL AND TECHNOLOGICAL  
IMPLICATIONS**

M.V. Petlovanyi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

\*Corresponding author: e-mail: petlyovany@ukr.net

**ABSTRACT**

**Purpose.** Increase of amount of mine rocks utilization in backfill mixtures on the basis of improvement of their properties and component composition with assessment of technological and environmental consequences.

**Methods.** An experimental program a complex of laboratory studies of the properties of the backfill mixes of the traditional composition and with the high content of mine rocks under the influence of fine binder is developed. A detailed analysis of the waste heap passport and an assessment of its impact on the environment in the conditions of one of the leading mining enterprises for underground mining of iron ores is given.

**Findings.** Properties of backfill mixtures with the content of mine rocks in the combined inert filler of 25-50% have been prepared and determined. The rational interval for the addition of mine rocks to the inert filler is determined. There is a correlation between the time of dismantling of the waste heap from the amount of rock in the inert filler of backfill mixture.

**Originality.** The power dependence of the change of the strength of the backfill massif on the volume of mine empty rocks in the composition of the combined inert filler of the backfill mixture is established.

**Practical implications.** Compositions of backfill mixtures with high content of mine empty rocks have been developed.

**Keywords:** mine rock, backfill mixture, grinding, binder and inert material, natural environment

## 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В більшості країн світу, що розвиваються, в яких превалує індустріальний тип економіки, інтенсивне функціонування промислового сектору супроводжується високим показником відходоутворення. Це обумовлено перш за все рядом причин: застосуванням низькотехнологічного обладнання та механізмів, фізичною та моральною зношеністю обладнання з часом, недосконалістю законодавчої бази в сфері державного регулювання поводження з відходами та принципів формування ринків з використання відходів у різних галузях економіки.

Значні обсяги відходоутворення при одночасному низькому рівні їх утилізації та рециклінгу призводить до негативних наслідків, що проявляються у екологічній, економічній та соціальних сферах, а саме забруднення компонент природного середовища (грунтів, підземних та поверхневих вод), відчуження значних площ цінних земель, плата підприємств за розміщення відходів, створення депресивних техногенних ландшафтів у гірничодобувних регіонах та ряд інших [1–4, 23].

Україна теж відноситься до країн з високим рівнем відходоутворення. За статистичними даними 2018 р. утворено 346,7 млн. т відходів I-IV класів небезпеки, або близько 11 т на 1 мешканця. Найбільший внесок у загальне відходоутворення країни привносить гірничодобувна галузь з показником 301 млн. т, або 86,9% (рис. 1) [5, 6].



Рисунок 1. Розподіл кількості утворених відходів у 2018 р. за економічним видом діяльності (тис. т)

Аналіз рис. 1 вказує, що єдиний шлях суттєвого зменшення рівня утворення відходів є розробка заходів з максимальної утилізації відходів саме гірничодобувної промисловості.

Згідно детальної статистичної інформації з утворення відходів гірничодобувної промисловості найбільший обсяг відходів приходить на видобуток металевих руд, а саме залізних руд. Це пов'язано зі складуванням на поверхні розкритих, пустих кар'єрних і шахтних порід в процесі видобутку; хвостів і шлаків збагачення у відвалах та сховищах – в процесі технологічного циклу збагачення. Відходи видобутку та переробки залізних руд мають більшу щільність у 1,5–2 рази ніж наприклад видобутку кам'яного вугілля чи іншої корисної копалини, тому загальний тоннаж утворення значно більший.

Сьогоднішній рівень утилізації відходів гірництва складає на рівні 25–30% і полягає в засипці деформованих земних поверхонь, порушених гірничими роботами, балки, яри або часткове використання в цивільному чи дорожньому будівництві. Існуючих обсягів утилізації недостатньо, адже загальна кількість утворюваних відходів гірництва значно більше обсягу утилізації, тому прогнозується їх постійне накопичення та складування на денній поверхні.

Якщо при відкритій розробці частину розкритих та пустих кар'єрних порід здебільшого можливо утилізувати в рекультиваційних роботах після відпрацювання запасів, то при підземній є можливість утилізувати промислові відходи гірництва у підземному виробленому просторі протягом експлуатації родовища. В разі залягання в надрах цінних запасів руд використовують прогресивні системи розробки із закладанням виробленого простору, що дозволяє зберегти від деформацій денну поверхню, знизити напруження у гірському масиві, створити безпечність гірничих робіт під час видобутку й утилізувати промислові відходи у підземний простір [7–10].

У зв'язку з тим, що закладні роботи значно підвищують собівартість видобутку постійно проводяться дослідження з вдосконалення компонентного складу закладних сумішей на основі промислових відходів місцевих сировинних баз, де функціонує гірниче підприємство. Для здешевлення закладних робіт, у складі закладних сумішей використовують шахтні відвальні пусті породи від проведення гірничих виробок як частину комбінованого інертного наповнювача [11–14], але на практиці їх частка не перевищує рівні 20–30%. В разі збільшення частки утилізації порід у складі закладної суміші підвищується також рівень їх утилізації.

В Україні прогресивні системи розробки із закладанням твердіючими сумішами використовують тільки 2 підземні рудники – ПрАТ «ЗЗРК» (розробка залізних руд) та ДП «СхідГЗК» (розробка уранових руд). Ці підприємства використовують у складі закладних сумішей пусті шахтні породи, але для загальної проблеми утилізації накопичених порід гірничорудної галузі це недостатньо. У Кривбасі функціонує 8 залізрудних шахт, але їх технологія видобутку не передбачає закладання виробленого простору, хоча мінерально-сировинна база потенційних закладних матеріалів є вагомою [15–17].

Таким чином, науково-технічні обґрунтування та пошуки шляхів інтенсифікації використання в якості закладного матеріалу шахтних пустих порід, які складовані у поверхневих породних відвалах, як для умов шахт, що працюють із закладанням, так і тих, де закладання може бути впроваджено в перспективі є актуальним питанням. Інтенсифікації використання шахтних пустих порід дозволить в підсумку зменшити їх негативний вплив на до-

вкільця, в деяких випадках може призвести до поступової ліквідації відвалу й зменшення плати екологічного податку за розміщення відходів.

## **2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ**

Дослідження проводились для умов ПрАТ «Запорізький залізорудний комбінат», який розробляє запаси залізних руд Південно-Білозірського родовища прогресивною камерною системою розробки із твердіючим закладенням. В якості частини інертного заповнювача використовується 20–30% подрібнених відвальних порід.

Для підвищення частки порід у закладній суміші й недопущення зниження нормативної міцності закладного масиву було розроблено експериментальну лабораторну програму з тестування закладної суміші на основі механоактивованого в'язучого матеріалу (доменного шлаку) шляхом подрібнення його часток у кульовому млині більше значення існуючого в технології закладних робіт (55% часток класу  $-0,074$  мм). Вплив механоактивації в'язучих матеріалів на властивості закладних сумішей та її ефективність достатньо вивчено в практиці закладних робіт [18–21].

В дослідженні прийнято склад закладної суміші, що рекомендовано ДП НДГРІ (2001 р.) для ПрАТ «ЗЗРК»: в'язучий матеріал – доменний гранульований шлак доменний гранульований шлак – 18%, відходи флюсового виробництва – 47%, подрібнена відвальна порода – 17% , вода – 18%. Тонкість помелу шлаку для експерименту була прийнята відповідно до ГОСТ 6613 і при просіюванні крізь сито № 008 повинно проходити не менше 85% маси проби. Доменний гранульований шлак для експерименту подрібнювався в лабораторному кульовому млині. Завантаження млина становить 1 кг. Після просіювання готової маси через сито № 008 пройшло 92% часток. Процес подрібнення шлаку в кульових млинах до необхідної тонкості характеризується зменшення продуктивності та зростанням енерговитрат. З метою економічної доцільності склади закладних сумішей проектувалися з меншими на 25% витратами в'язучого матеріалу ( $300 \text{ кг/м}^3$ ), при цьому зменшена частка пропорційно замінювалась породою та флюсом.

Активність доменного шлаку доведеного до тонкості подрібнення 92% частинок розміром  $0,074$  мм перевіряли за допомогою приготування на його основі закладних сумішей. Для цього в лабораторії закладного комплексу приготовлено 4 експериментальні суміші з вмістом гірської породи в інертному заповнювачі відповідно 25, 30, 40, 50%. Ситовим методом був визначений гранулометричний склад. За стандартними методиками згідно [18, 22] визначені рухливість суміші, максимальне напруження зсуву суміші і міцність на одноосьовий стиск у віці 90 днів.

Виконано також аналіз паспорту породного відвалу та оцінки його впливу на довкілля, де увагу приділено до пилового забруднення. Аналітично визначався баланс надходжень та утилізації пустих відвальних порід в закладній суміші залежно від їх вмісту й оцінено можливі обсяги зменшення або ліквідація накопичень пустих порід.

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Технологією видобутку залізних руд прийнята камерна система розробки рудного покладу із застосування закладання виробленого простору твердіючими сумішами. Щорічним видобуток складає 4,5 млн. т залізних руд, а обсяг приготування закладної суміші – 1,0 млн. м<sup>3</sup>. Як і на всіх підземних рудниках в результаті виконання гірничопрохідницьких робіт на денній поверхні накопичено породний відвал пустих порід (рис. 2).



*Рисунок 2. Розташування відвалу пустих порід в межах гірничого відводу*

Породний відвал передбачений для складування гірської маси, одержуваної при проходці гірських виробок по породах лежачого і висячого боку рудного покладу. Відвал розташований в гірничому відводі комбінату над центральною частиною рудного тіла, у кінцевих своїх кордонах має прямокутну форму. Під відвалом залишено культурний шар (чорнозем). Нижче розташовані наноси у вигляді суглинків з наявністю ґрунтових вод в 5–8 м від поверхні. Шахтні породи, що видаються з шахти, не є токсичними, тому не роблять шкідливого впливу на підстилаючі ґрунти і водоносний горизонт. Середньорічна кількість породи, що надходить на відвал, становить близько 500 тис. т. На початковому етапі будівництва і експлуатації комбінату з відвалу використовувалося до 100 тис. т гірських порід на відсіпання основ автомобільних і залізних доріг. На сьогоднішній день цей показник значно менший. Прийнятий плоский одноярусний бульдозерний відвал з доставкою породи автотранспортом. Частина породи для дробильно-закладного комплексу перевозиться рейковим транспортом. На рис. 3 наведені натурні фотографії породного відвалу і щічної дробарки – основних джерел забруднення пилом, а параметри відвалу – у табл. 1.



*Рисунок 3. Порошний відвал і комплекс дроблення порід для закладної суміші*

*Таблиця 1. Параметри породного відвалу*

Параметр	Од.
Площа, га	14,8
Довжина, м	550
Ширина, м	275
Висота, м	20
Обсяг складованих порід, млн. т	4,8
Надходження порід у відвал, млн. т/рік	0,55
Рівень використання порід у закладці, млн. т/рік	Залежить від складу закладної суміші

Запилювання відвалу призводить до забруднення компонентів навколишнього природного середовища, за які комбінат компенсує завдану екологічну шкоду. Концентрація пилу в викидах по відвалу: при розвантаженні – 5,73 г/с, при зберіганні – 21,84 г/с, а загальний об'єм викидів – 345 т/год.

У технологічному процесі видобутку залізної руди відвальна гірська порода використовується як частина інертного заповнювача при виробництві закладних робіт. У 2001 році працівниками комбінату спільно з співробітниками НДГРІ (м. Кривий Ріг) було запропоновано в якості 25–30% від кілько-

сті інертного наповнювача використовувати шахтні пусті породи, накопичені у відвалі від проходки гірничих виробок, попередньо подрібнені до певного гранулометричного складу. Тим самим в перспективі очікувалося зменшення обсягів відвалу, а, отже, і маси пилових викидів з його поверхні. Після цих змін компонентний склад закладної суміші має наступний вигляд: в'язучий матеріал – доменний гранульований шлак, інертний заповнювач – флюсовий доломіт, відвальна гірська порода і вода. Інертний наповнювач в результаті додавання порід став комбінованим.

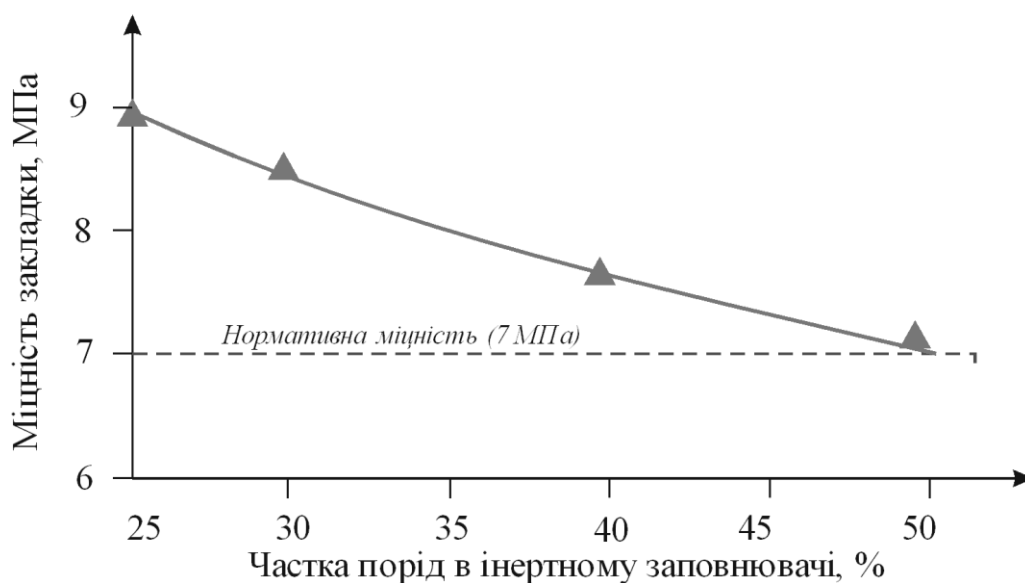
В лабораторних умовах розроблено склади з підвищеним вмістом порід та визначено їх властивості. Шахтні породи подрібнювались до крупності - 20 мм. Ситовим аналізом визначено їх гранулометричний склад: +20 мм - 3,2%, -20...+10 мм – 44,1%, -10...+5,0 мм – 27,3%, -5,0...+2,5 мм – 9,5%, -2,5...+1,25 мм – 2,9%, -1,25 мм – 13,3%. Визначено параметри закладних сумішей зі збільшеним витратою гірничих порід: рухливості – знаходяться в межах 11–11,5 см і гранично-напруженого зсуву – 9–14 кгс/м<sup>2</sup>. Ці параметри задовольняють умовам трубопровідного транспорту закладної суміші. Після 90 днів зберігання склади були випробувані на міцність. Склади і результати випробування закладки на міцність наведені в табл. 2

**Таблиця 2. Експериментальні склади закладки, що твердіє зі збільшенням вмістом гірської породи**

Номер складу	Витрати компонентів на 1 м <sup>3</sup> закладки, %				Міцність закладки, МПа 90 днів
	В'язуче шлак	Інертний наповнювач		вода	
		флюсовий доломіт	порода		
№1	15	48	17 (25% від інертного наповнювача)	20	8,9
№2	15	45	20 (30% від інертного наповнювача)	20	8,65
№3	15	39	26 (40% від інертного наповнювача)	20	7,7
№4	15	32,5	32,5 (50% від інертного наповнювача)	20	7,1

Наявність певної кількості шахтних крупнокускових порід у складі закладної суміші позитивно впливає на міцнісну характеристику закладного масиву, підвищуючі її на 10–25%. Але надто значна їх кількість у складі закладної суміші може призвести до падіння міцності, адже кристалічні продукти гідратації не в змозі пов'язати тільки крупні куски заповнювача, тому необхідна наявність достатньої кількості інертного наповнювача фракції 0-10 мм. Шляхом варіюванні вмісту породи за данним міцності закладки встановлюється раціональний діапазон.

Узагальнення результатів табл. 2 дозволило встановити ступеневу залежність зміни міцності закладного масиву від обсягу шахтних пустих порід у складі комбінованого інертного заповнювача закладної суміші (рис. 4).



**Рисунок 4.** Залежність зміни міцності закладного масиву від вмісту порід під впливом тонкодисперсного в'язучого матеріалу

Графік на рис. 4 показує, що зі збільшенням частки гірської породи в інертному заповнювачі закладної суміші з 25 до 50% міцність закладки знижується. На наш погляд найбільш раціональний інтервал додавання відвальної гірської породи в інертний заповнювач становить 40...50%, при якому міцність не перевищує значення нормативної міцності. При більшій частці породи міцність закладного масиву може знизиться. Для цього в лабораторних умовах необхідно приготування ряду складів з вмістом порід понад 50% та за результатами показників міцності встановити раціональний вміст породи.

Для досягнення дисперсності доменого гранульованого шлаку на рівні 92% – 0,08 мм існує декілька шляхів. По-перше, в складі закладної суміші пропонується зменшити на 25% витрати доменого шлаку, тому можна підвищити тонину помелу у кульових млинах МШЦ 36x55, що використовуються у закладному комплексі та дещо знизити продуктивність кінцевого продукту на виході з млина, адже при зменшенні витрат шлаку ( $\text{кг/м}^3$ ) подрібненню підлягає менший обсяг шлаків. Потрібно провести додаткові дослідження, але цілком може бути оправдане економічно підвищення дисперсності шлаку й відповідно енерговитрат на подрібнення при зменшенні його витрат на 25% в складі закладної суміші. По-друге, можна розглянути варіанти заміни подрібнюючого агрегату на нові зразки млинів [18], що характеризуються енергоефективністю при подрібненні та які із задовільним часом окупляться.

Якщо річний обсяг порід відвалу, який використовується для закладних робіт, перевищує річний обсяг порід, що надходять з прохідницьких вибоїв



у відвал, то ця різниця є фактором зменшення обсягу відвалу з плином часу. Щорічно близько 2,5% від надходження порід на відвал використовується на відсіпання підстави автомобільних і залізних доріг та інших цілей. Кількість відвальних порід у відвалі становить близько 4,8 млн. т станом на 2018 р. За рахунок збільшення частки порід в закладній суміші може скоротиться час розбору відвалу і знизиться його пиловий вплив на довкілля. Збільшення частки відвальної гірської породи в складі закладної суміші можливо за рахунок більш тонкого подрібнення доменного гранульованого шлаку для підвищення його в'язучих властивостей або ж при введенні в закладну суміш спеціальних добавок, що підвищують міцність монолітного масиву.

При певних темпах утилізації породи час розбору відвалу можна визначити обчислити за наступною формулою:

$$T_p = \frac{Q_o}{(\Delta q + q')}, \text{ років}$$

де  $T_p$  – час розбору відвалу, років;  $Q_o$  – кількість порід у відвалі, тис. т.;  $\Delta q$  – різниця між кількістю порід, що використовуються для закладки і надходять від проходки на відвал, тис. т/рік;  $q'$  – кількість гірських порід, що використовуються в інших цілях, тис. т/рік.

За вищевказаною формулою можливо обчислити час розбору відвалу зі збільшенням частки породи в закладці. Якщо збільшити вміст породи в закладній суміші, то відповідно збільшиться обсяг утилізованих порід відвалу та скорочується їх надходження на відвал, що призводить до його поступової ліквідації. Взаємозв'язок зміни надходження порід у відвал від кількості породи в інертному заповнювачі представлена на рис. 5.



Рисунок 5. Баланс надходжень та утилізації в закладці пустих відвальних порід

Аналізуючи графік рис. 5 можна спостерігати, що при вмісті в інертному заповнювачі закладки 35% шахтних відвальних порід буде спостерігатися перевищення надходження порід над їх утилізацією в закладку, відповід-

но відвал з часом не буде скорочуватися. При вмісті порід в інертному заповнювачі більше 40% надходження порід будуть меншими, ніж їх використання в закладній суміші, ця різниця дозволить поступово зменшувати накопичення порід і з часом ліквідувати відвал. Так, при рекомендованому рівні утилізації порід в заповнювачі 50% час розбору відвалу складе 32 роки. Якщо врахувати, що термін служби комбінату складе ще близько 30 років, то до закриття рудника буде повністю розібраний породний відвал. Якщо удосконалити склад закладної суміші і довести вміст порід до 60% – час розбору складе 16,5 років.

При використанні 50% порід в інертному заповнювачі закладної суміші кількість пилу, утвореного при відвальних роботах в рік скоротиться на 70% (до 100 т/рік), так як найбільше запилювання спостерігається при зберіганні порід у відвалі. При цьому буде економія коштів підприємства за утворення та розміщення відходів (з 1 т малонебезпечних нетоксичні відходів гірничодобувної промисловості плата 0,5 грн), тобто при утворенні відходів 0,5 млн. т/рік, економія може скласти 0,25 млн. грн. Крім цього після відпрацювання запасів залізних руд протягом 30 років відвал буде ліквідовано та 15 га повернуться у сільськогосподарське користування, також зникає необхідність виконання рекультивації породного відвалу.

У разі розбору породного відвалу раніше терміну закриття підприємства то обсяг порід, що надходять з прохідницьких вибоїв, буде відразу ж використовуватися у складі закладної суміші без їх складування на поверхні.

#### 4. ВИСНОВКИ

Додавання породи в закладну суміш стало прогресивним кроком в технологічному, економічному і природоохоронному аспекті видобутку залізних руд. У цій статті розглянуто можливі шляхи підвищення частки гірських порід за рахунок спеціальної підготовки одного з компонентів, твердіючого закладення та аналітично визначено баланс надходжень та утилізації в закладці пустих відвальних порід в залежності від вмісту шахтних порід у складі інертного заповнювача закладної суміші.

Встановлено, що при рекомендованому рівні утилізації порід в заповнювачі 50% час розбору відвалу складе 32 роки, а враховуючи термін служби рудника близько 30 років, то до його закриття буде повністю розібраний породний відвал. Якщо вміст породи довести до 60% – час розбору складе 16,5 років. При використанні 50% порід в інертному заповнювачі закладної суміші кількість утвореного пилу при їх зберіганні у відвалі скоротиться на 50%, а 15 га повернуться у сільськогосподарське користування, також зникає необхідність виконання рекультивації породного відвалу.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Pavlychenko A., Buchavyu Y., Fedotov V., Rudchenko A. (2017). Development of methodological approaches to environmental evaluation of the influence of manmade massifs on the environmental objects. *Technology Audit and Production Reserves*, vol. 4, no. 3(36), pp. 22–26. <https://doi:10.15587/2312-8372.2017.109243>

2. Гриньов, В.Г., Хорольський, А.О., & Калищенко, О.П. (2019). Розроблення екологічних сценаріїв ефективного освоєння цінних родовищ корисних копалин. *Мінеральні ресурси України*, (2), 46–50. <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.46-5>
3. Popovych, V., Kuzmenko, O., Voloshchyshyn, A., & Petlovanyi, M. (2018). Influence of man-made edaphotopes of the spoil heap on biota. *E3S Web of Conferences*, 60, 00010. <https://doi:10.1051/e3sconf/20186000010>
4. Pinder, V. F., & Popovych, V. V. (2017). Reclamation of mine rock dumps of liquidates mines in Iviv-volyn coal basin. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(3), 113–116. <https://doi:10.15421/40270325>
5. Статистичний збірник «Довкілля України» за 2018 р. (2019). Державна служба статистики України, Київ, 214 с.
6. Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24–38. <https://doi:10.33271/mining13.01.024>
7. Chistyakov, E., Ruskih, V., & Zubko, S. (2012). Investigation of the Geomechanical Processes whil Mining Thick Ore Deposits by Room Systems with Backfill of Worked-Out Area. *Geomechanical Processes During Underground Mining – Proceedings of the School of Underground Mining*, 127–132. <https://doi.org/10.1201/b13157-23>
8. Khomenko, O., Kononenko, M., & Petlovanyi, M. (2015). Analytical modeling of the backfill massif deformations around the chamber with mining depth increase. *New Developments in Mining Engineering*, 265–269. <https://doi.org/10.1201/b19901-47>
9. Кузьменко, О.М., & Петльований, М.В. (2017). Стійкість штучного масиву при підземній розробці потужного рудного покладу на великій глибині. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (50), 56–62.
10. Khorolskyi, A., Hrinov, V., & Kaliushenko, O. (2019). Network models for searching for optimal economic and environmental strategies for field development. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 6(3), 463–471.
11. Wu, J., Feng, M., Mao, X., Xu, J., Zhang, W., Ni, X., & Han, G. (2018). Particle size distribution of aggregate effects on mechanical and structural properties of cemented rockfill: Experiments and modeling. *Construction and Building Materials*, 193, 295–311. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.208>
12. Lingga, B. A., & Apel, D. B. (2018). Shear properties of cemented rockfills. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 10(4), 635–644. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.03.005>
13. Мельник, П.Е. & Хрисанов В.В. (2010). Использование шахтных пород и отходов углеобогащения в качестве закладочного материала при подземной угледобыче. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, (5), 282–287
14. Крупник, Л.А., Битимбаев, М.Ж., Шапошник, С.Н., Шапошник, Ю. Н., & Демин, В. Ф. (2015). Обоснование рациональной технологии закладочных работ на месторождении Секисовское. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. (3), 82–90.
15. Petlovanyi, M., Lozynskyi, V., Zubko, S., Saik, P., & Sai, K. (2019). The influence of geology and ore deposit occurrence conditions on dilution indicators of extracted reserves. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, 34(1), 83–91. <https://doi.org/10.17794/rgn.2019.1.8>
16. Хоменко, О.Е., Кононенко, М.Н., Миронова, И.Г., & Юрченко, К.О. (2017). Пути снижения техногенной нагрузки на горнодобывающие регионы Украины. *Збірник наукових праць НГУ*, (51), 77–83.

17. Кузьменко, А.М., & Петлёваный, М.В. (2013). Состояние и перспективы развития закладочных работ на подземных рудниках Украины. *Геотехнічна механіка*, (110), 89–97.
18. Кузьменко, А.М., Петлёваный, М.В., & Усатый, В.Ю. (2015). Твердеющая закладка при отработке рудных крутых залежей в сложных горно-геологических условиях. Днепропетровск: Национальный горный университет.
19. Deng, X., Klein, B., Tong, L., & de Wit, B. (2018). Experimental study on the rheological behavior of ultra-fine cemented backfill. *Construction and Building Materials*, 158, 985–994. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.085>
20. Кузьменко, А.М., & Петлёваный, М.В. (2015). Обоснование целесообразности тонкого измельчения вяжущего материала при закладочных работах. *Розробка родовищ*, 9(2), 183–190.
21. Petlovanyi, M., & Mamaikin, O. (2019). Assessment of an expediency of binder material mechanical activation in cemented rockfill. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(20), pp. 3492–3503.
22. Кузьменко, А.М., Петлёваный, М.В., & Усатый, В.Ю. (2010). Влияние тонкоизмельченных фракций шлака на прочностные свойства твердеющей закладки. В *Матеріалах Міжнародної науково-практичної конференції «Школа підземної розробки»* (с. 383–386). Дніпропетровськ: Національний гірничий університет.
23. Борисовська О.О., & Павличенко А.В. (2019). Оцінка екологічної небезпеки золошлакових відходів теплоелектростанцій. *Геотехнічна механіка*, (134), 36-46.

## REFERENCES

1. Pavlychenko A., Buchavyy Y., Fedotov V., Rudchenko A. (2017). Development of methodological approaches to environmental evaluation of the influence of manmade massifs on the environmental objects. *Technology Audit and Production Reserves*, vol. 4, no. 3(36), pp. 22–26. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.109243>
2. Hrinov, V.H., Khorolskyi, A.O., & Kaliushhenko, O.P. (2019). Rozroblennya ekologichnyh scenariyiv efektyvnogo osvoyennya cinnyh rodovyshh korysnykh kopalyn. *Mineralni resursy Ukrayiny*, (2), 46–50. <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.46-5>
3. Popovych, V., Kuzmenko, O., Voloshchyn, A., & Petlovanyi, M. (2018). Influence of man-made edaphotopes of the spoil heap on biota. *E3S Web of Conferences*, 60, 00010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000010>
4. Pinder, V. F., & Popovych, V. V. (2017). Reclamation of mine rock dumps of liquidates mines in Iviv-volyn coal basin. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(3), 113–116. <https://doi.org/10.15421/40270325>
5. *Statystychnyj zbirnyk «Dovkillya Ukrayiny» za 2018 r.* (2019). Derzhavna sluzhba statystyky Ukrayiny, Kyiv, 214 s.
6. Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24–38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>
7. Chistyakov, E., Ruskih, V., & Zubko, S. (2012). Investigation of the Geomechanical Processes whil Mining Thick Ore Deposits by Room Systems with Backfill of Worked-Out Area. Geomechanical Processes During Underground Mining – *Proceedings of the School of Underground Mining*, 127–132. <https://doi.org/10.1201/b13157-23>
8. Khomenko, O., Kononenko, M., & Petlovanyi, M. (2015). Analytical modeling of the backfill massif deformations around the chamber with mining depth increase. *New Developments in Mining Engineering*, 265–269. <https://doi.org/10.1201/b19901-47>

9. Kuzmenko, O.M., & Petlovanyj, M.V. (2017). Stijkist shtuchnogo masyvu pry pidzemnij rozrobci potuzhnogo rudnogo pokladu na velykij glybyni. *Zbirnyk naukovykh pracz Nacionalnogo girnychogo universytetu*, (50), 56–62.
10. Khorolskyi, A., Hrinov, V., & Kaliushenko, O. (2019). Network models for searching for optimal economic and environmental strategies for field development. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 6(3), 463–471.
11. Wu, J., Feng, M., Mao, K.H., K.Hu, J., Zhang, W., Ni, K.H., & Han, G. (2018). Particle size distribution of aggregate effects on mechanical and structural properties of cemented rockfill: *Ekhperiments and modeling. Construction and Building Materials*, 193, 295–311. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.208>
12. Lingga, B. A., & Apel, D. B. (2018). Shear properties of cemented rockfills. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 10(4), 635–644. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.03.005>
13. Melnyk, P.E. & KHrysanov V.V. (2010). Yspolzovanye shakhtnykh porod y otkhodov ugleobogashhenyya v kachestve zakladochnogo materyala pry podzemnoj ugle-dobiche. *Gornij ynformacyonno-analytycheskyj byulleten*, (5), 282–287
14. Krupnyk, L.A., Bytymbaev, M.Zh., Shaposhnyk, S.N, Shaposhnyk, Yu. N, & Demyn, V. F. (2015). Obosnovanye racyonalnoj tekhnology zakladochnykh rabot na mes-torozhdenyy Sekysovskoe. *Fyzyko-tekhnicheskiye problemy razrabotky poleznukh ysko-paemikh*. (3), 82–90.
15. Petlovanyi, M., Lozynskyi, V., Zubko, S., Saik, P., & Sai, K. (2019). The influ-ence of geology and ore deposit occurrence conditions on dilution indicators of ekhtract-ed reserves. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, 34(1), 83–91. <https://doi.org/10.17794/rgn.2019.1.8>
16. Khomenko, O.E., Kononenko, M.N., Myronova, Y.G., & Yurchenko, K.O. (2017). Puty snyzhenyya tekhnogennoj nagruzky na gornodobivayushhye regyony Ukrainy. *Zbirnyk naukovykh pracz NGU*, (51), 77–83.
17. Kuzmenko, A.M., & Petlëvanyj, M.V. (2013). Sostoyanye y perspektyvy razvytya zakladochnykh rabot na podzemnykh rudnykakh Ukrainy. *Geotekhnichna mekhanika*, (110), 89–97.
18. Kuzmenko, A.M., Petlëvanyj, M.V., & Usatij, V.Yu. (2015). Tverdeyushhaya zakladka pry otrabotke rudnykh krutykh zalezhej v slozhnykh gorno-geologicheskyykh uslovyiyakh. Dnepropetrovsk: Natsionalnyj gornyj unyversytet.
19. Deng, K.H., Klein, B., Tong, L., & de Wit, B. (2018). Ekhperimental study on the rheological behavior of ultra-fine cemented backfill. *Construction and Building Materials*, 158, 985–994. <https://doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.05.085>
20. Kuzmenko, A.M., & Petlevanyi, M.V. (2015). Obosnovanye celesoobraznosti tonkogo yzmelchenyya vyazhushhego materyala pry zakladochnykh robotakh. *Rozrobka rodovysh*, 9(2), 183–190.
21. Petlovanyi, M., & Mamaikin, O. (2019). Assessment of an ekhpediency of binder material mechanical activation in cemented rockfill. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(20), pp. 3492–3503.
22. Kuzmenko, A.M., Petlëvanyi, M.V., & Usatij, V.Yu. (2010). Vlyyanye tonko- yzmelchennikh frakcyj shlaka na prochnostnie svojstva tverdeyushhej zakladky. In *Mate- rialakh Mizhnarodnoyi naukovy-praktychnoyi konferencyi «Shkola pidzemnoyi rozrobky»* (s. 383–386). Dnipropetrovsk: Nacionalnyj girnychyj universytet.
23. Borysovska O.O., & Pavlychenko A.V. (2019). Ocinka ekologichnoyi nebezpeky zoloshlakovykh vidkhodiv teploelektrostantsij. *Geotekhnichna mekhanika*, (134), 36–46.

**ABSTRACT (IN UKRAINIAN)**

**Мета.** Підвищення обсягу утилізації шахтних порід у закладних сумішах на основі вдосконалення їх властивостей та компонентного складу з оцінкою технологічних та екологічних наслідків.

**Методика.** Складено експериментальну програму комплексу лабораторних досліджень властивостей закладних сумішей традиційного складу та з підвищеним вмістом шахтних пустих порід під впливом тонкодисперсного в'язучого матеріалу. Виконано детальний аналіз паспорту породного відвалу та оцінки його впливу на довкілля в умовах одного з провідних гірничих підприємств з підземного видобутку залізних руд.

**Результати.** Приготовлено та визначено властивості закладних сумішей з вмістом шахтних пустих порід 25-50% у комбінованому інертному заповнювачі. Визначено раціональний інтервал додавання шахтних порід в інертний заповнювач. Встановлено взаємозв'язок між часом розбору породного відвалу від кількості породи в інертному заповнювачі закладної суміші.

**Наукова новизна.** Встановлено ступеневу залежність зміни міцності закладного масиву від обсягу шахтних пустих порід у складі комбінованого інертного заповнювача закладної суміші.

**Практична значимість.** Розроблені склади закладних сумішей з підвищеним вмістом шахтних пустих порід.

**Ключові слова:** шахтна порода, закладна суміш, подрібнення, в'язучий та інертний матеріал, природне середовище

**ABSTRACT (IN RUSSIAN)**

**Цель.** Повышение объема утилизации шахтных пород в закладочных смесях на основе совершенствования их свойств и компонентного состава с оценкой технологических и экологических последствий.

**Методика.** Составлена экспериментальная программа проведения комплекса лабораторных исследований свойств закладочных смесей традиционного состава и с повышенным содержанием шахтных пустых при влиянии тонкодисперсного вяжущего материала. Выполнен детальный анализ паспорта породного отвала и оценки его влияния на окружающую среду в условиях одного из ведущих горных предприятий по подземной добыче железных руд.

**Результаты.** Приготовлены и определены свойства закладочных смесей с содержанием шахтных пустых пород в комбинированном инертном заполнителе 25-50%. Определены рациональный интервал добавления шахтных пород в инертный наполнитель. Установлена взаимосвязь между временем разбора породного отвала от количества породы в инертном заполнителе закладочной смеси.

**Научная новизна.** Установлена степенная зависимость изменения прочности закладочного массива от объема шахтных пустых пород в составе комбинированного инертного заполнителя закладочной смеси.

**Практическая значимость.** Разработаны составы закладочных смесей с повышенным содержанием шахтных пустых пород.

**Ключевые слова:** шахтная порода, закладочная смесь, измельчение, вяжущий и инертный материал, природная среда.

**ABOUT AUTHOR**

Petlovanyi Mykhailo, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dnipro University of Technology, Associate Professor of the Mining Engineering and Education Department, 19 Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005.  
E-mail: petlyovany@ukr.net