

© О.О. Шустов¹, М.В. Петльований¹, С.А. Зубко¹, Є.А. Шерстюк¹

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

ГЕОМЕХАНІЧНІ ПРОБЛЕМИ СТІЙКОСТІ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ МАСИВІВ РУДНИХ РОДОВИЩ

© O. Shustov¹, M. Petlovanyi¹, S. Zubko¹, Ye. Sherstuk¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

GEOMECHANICAL PROBLEMS OF STABILITY OF NATURAL-TECHNOGENIC ORE DEPOSITS

Мета. Навести найбільш вагомі проблеми розроблення рудних родовищ України із точки зору збереження стійкості природно-техногенних масивів і розробити рекомендації щодо вирішення вказаних проблем.

Методика. Для розрахунку параметрів стійкості відвалу № 2 Петровського кар'єра ПрАТ «ЦГЗК» застосовується метод алгебраїчного додавання сил по найбільш напруженій поверхні. При виборі доцільного варіанту ліквідації наслідків зсуву застосовується метод техніко-економічного порівняння. Геомеханічні проблеми та наслідки зниження стійкості вміщуючих порід, руди та закладного масиву при підземній розробці було систематизовано методом узагальнення.

Результати. За результатами аналізу шахтної документації і маркшейдерських зйомок очисних просторів камер у поверсі майже відпрацьованому на теперішній час поверсі 640-740 м випадків обвалення закладки зафіксовано не менш ніж в 18 камерах, причому основними зонами вивалам є покрівля та боки камер. Встановлено, що сукупні витрати на ліквідацію наслідків утворення зсуву площею 2,5 га складають 66,8 і 60,2 млн. грн. відповідно за варіантом із прибиранням тіла зсуву та варіантом із використанням порушеної площі для додаткового складування порід розкриву.

Наукова новизна. Встановлено, що величини осідання масиву гірських порід досягли 70-195 мм. Швидкість осідань масиву на окремих ділянках досягла величини 4 – 6 мм/міс. Наведено класифікацію геомеханічних проблем та наслідків зниження стійкості природно-техногенного масиву при підземній розробці залізних руд із закладанням.

Практична значимість. Виявлені геомеханічні проблеми розробки рудних покладів із закладанням корисні для розробки заходів з підвищення стійкості елементів систем розробки. Запропоновано чотири варіанти ліквідації наслідків зсуву: прибирання тіла зсуву до ліцензованої кордону земельного відводу і розвантаження укусу відвалу на ділянці зсуву до стійкого стану; залучення порушеною площі в земельний відвід; використання площі, порушеною зсувом для складування гірської маси; прибирання зсуву до межі земельного відводу без виконання укусу. Із точки зору стійкості гірничого масиву та економічної доцільності до застосування рекомендовано третій варіант.

Ключові слова: *стійкість породного масиву, розробка рудних родовищ, осідання гірського масиву, ліквідація наслідків зсуву, закладення виробленого простору.*

Вступ. Надра України забезпечені суттєвими запасами залізної руди. Україна займає перше місце в світі за геологічними запасами залізних руд, які оцінюються в 30 млрд т, а в перерахунку на вміст чистого заліза – четверте місце, після

Росії, Бразилії та Австралії [1]. Гірничорудна галузь в складі гірничо-металургійного комплексу займає провідне місце в економіці України та забезпечує значні валютні надходження від експорту залізорудної сировини. Так, в 2018 р. експорт залізорудної сировини та концентрату склав 2,86 млрд. дол. за даними Державної фіскальної служби України [2]. Первинною сировиною у функціонуванні ГМК є сира залізна руда, видобуток якої здійснюється як підземним, так і відкритим способами [3-5].

Щорічно в Україні вилучається близько 75 – 80 млн т залізної руди, причому 80 % складає відкритий спосіб, підземний спосіб – 20 %. Інтенсивний видобуток залізних руд завдає шкоди навколишньому середовищу: утворюються суттєві порожнини в земній корі, що призводять до деформацій поверхні; порушення гідрогеологічних режимів поверхневих вод; складування відходів видобутку та збагачення залізних руд, що займають цінні сільськогосподарські землі та забруднюють атмосферу гідросферу та літосферу.

За більш 100 річний період видобутку залізних руд суттєво змінилися гірничо-геологічні та гірничо-технічні умови розробки родовищ. Так, збільшилась глибина кар'єрів та шахт, що призводить до підвищення рівня гірського тиску та зниження стійкості масиву гірських порід і відповідно безпеки ведення гірничих робіт, спостерігається зниження якості видобутої залізорудної сировини та підвищення собівартості її видобутку.

Технологічний процес видобутку залізних руд відбувається в умовах природно-техногенного середовища. На першому етапі розробки родовищ видобуток здійснюється в умовах природного геологічного масиву, але з часом з розвитком гірничих робіт формуються техногенне середовище. При відкритій внаслідок видобутку формуються відвали пустих та розкритих порід, а при підземній розробці також відвали порід і штучний закладний масив при застосуванні систем розробки із закладанням, що являють собою техногенні масиви, поява яких обумовлена перш за все діяльністю людини. Утворення техногенних масивів рудних родовищ викликане значними обсягами видобування корисних копалин. При підземній розробці найбільш важливим є дослідження геомеханічних процесів у гірському та штучному масиві, що оточує видобувні камери, при відкритій – геомеханічних та гідромеханічних (у зв'язку з підвищеною обводненістю) при формуванні видобувних уступів та укосів відвалів в процесі експлуатації.

В умовах сьогодення, коли відбувається інтенсивне пониження гірничих робіт, стійкість природно-техногенних масивів є актуальним питанням для гірничорудної галузі, в часті безпеки ведення гірничих робіт та покращення техніко-економічних показників видобутку.

Основна частина. В Україні залізні руди підземним способом видобувають близько 15 млн т в Криворізькому (8 рудників) та Білозерському родовищах (1 рудник) [6]. У Кривбасі залізні руди видобуваються із застосуванням камерної системи розробки (55%) і підповерховим обваленням (45%) [7], а в умовах Білозерського родовища камерна система розробки із твердіючим закладанням виробленого простору (100%) [8, 9].

Одним з гірничих підприємств, що здійснюють видобуток руди підземним способом, є Запорізький залізорудний комбінат, який розробляє багаті залізні руди Білозерського родовища із вмістом заліза більше 60%, питома вага якого в підземному видобутку України становить 25 – 30%.

Науковий інтерес має розробка Білозерського родовища адже експлуатація родовища відбувається в умовах природно-техногенного середовища, а в умовах шахт Кривбасу – тільки в природному. Відпрацювання рудних запасів по горизонтальній площі рудного покладу чергується із закладними роботами, що відстають від очисних камер першої черги на час, необхідний для затвердіння штучного масиву. Таким чином, згодом рудний масив замінюється на штучний (техногенний). Камери першої черги відпрацювання знаходяться здебільшого в оточенні природного масиву (рудний, породний), а другої черги відпрацювання – в штучному (техногенному).

Запаси залізних руд з вмістом заліза понад 60% розробляються в інтервалі глибин 305-940 м. Виймання рудних запасів здійснюється високими очисними камерами з подальшим заповненням виробленого простору твердіючою сумішшю з техногенних відходів. Висота камери становить 100 – 200 м, ширина камер – 30 м. В залежності від коливань потужності 2-3 камери розташовують навхрест простягання, а відпрацювання запасів ведуть від висячого боку до лежачого і навпаки.

Таким чином, при розробці крутопадаючих рудних родовищ із твердіючим закладенням природно-техногенний масив являє собою безпосередньо рудний поклад, вміщуючі породи висячого і лежачого боків, а також штучний масив.

Незважаючи на застосування ефективної системи розробки з твердіючою закладкою при освоєнні запасів руд в інтервалі глибин 480 – 840 м виникли серйозні проблеми стійкості природно-техногенного масиву, викликані зростаючим з глибиною гірським тиском, впливом на масив вибухових робіт, відмінністю геологічних умов, що призводить до обвалення порід, руди і закладки у вироблений простір камер. Це веде до засмічення руди і, відповідно, підвищення собівартості, що відзначається в низці наукових праць [10-12]. При цьому погіршився також і експлуатаційний стан підземних гірничих виробок, за якими постійно переміщаються люди і внутрішньошахтний транспорт.

В результаті щоквартальних інструментальних спостережень стану штреку висячого боку горизонту 740 м на ділянці покладу в маркшейдерських осях від 10с до 10ю, проведених в період з 24.07.07 по 24.02.2010 встановлено, що величини осідання масиву гірських порід досягли 70-195 мм. Швидкість осідань масиву на окремих ділянках досягла величини 4 – 6 мм/міс. На рис. 1 наведено графік зміщень порід у штреку висячого боку по довжині рудного покладу в межах маркшейдерських вісей 10 с – 10 ю.

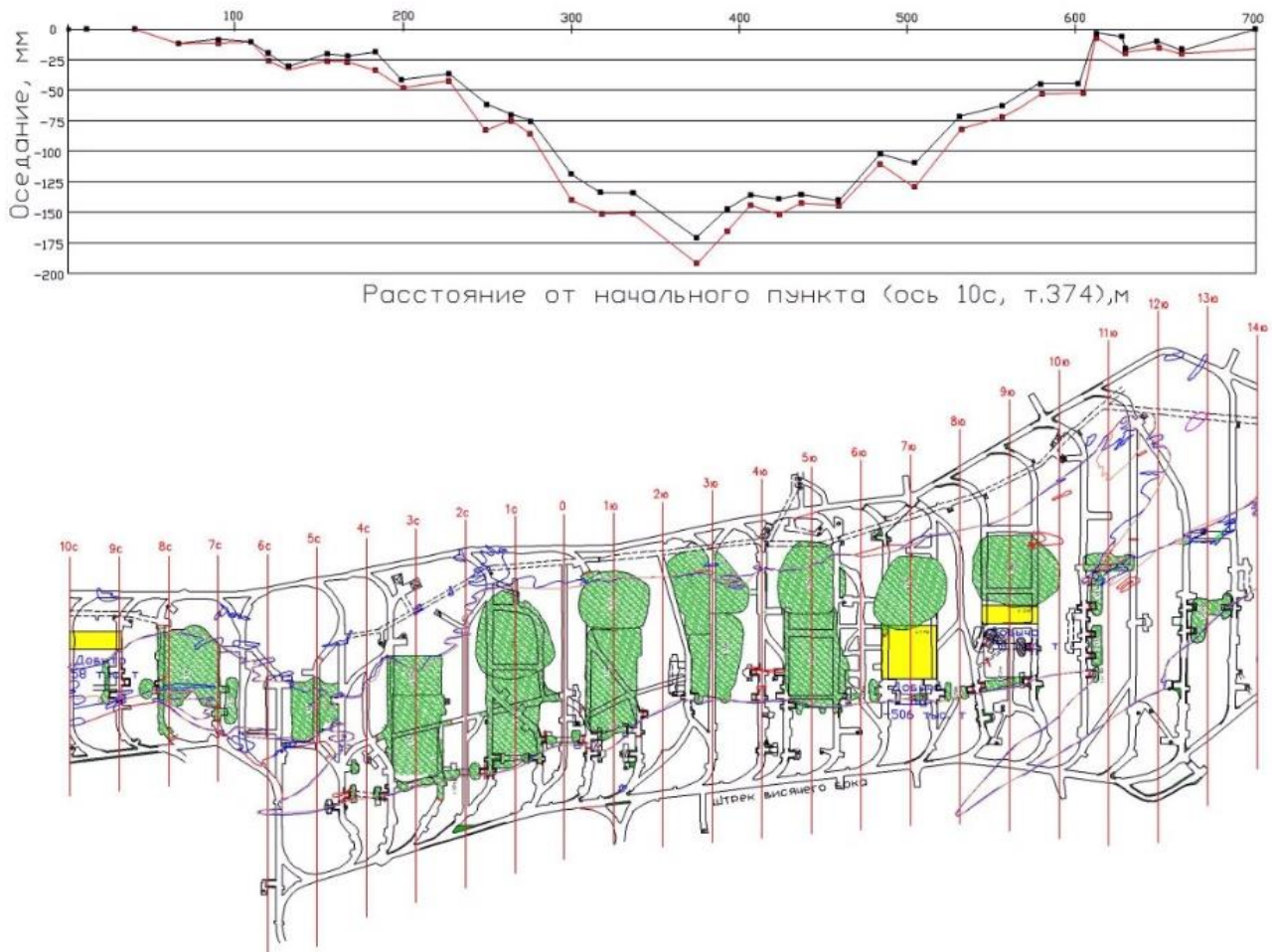


Рис.1. Величини осідань гірського масиву по штреку висячого боку горизонту 740 м

Аналіз характеру і форми проявів гірського тиску дозволили встановити, що порушення контурів очисного простору відбувається в похилому відслоненні камер на контакті з породами висячого боку рудного покладу.

Детальний аналіз історії відпрацювання поверху в період 2002-2015 р. показав, що при відпрацюванні 16 камер висячого боку відмічені факти відшарування і обвалення порід висячого боку, внаслідок чого засмітилася добута руда. Найбільше засмічення руди у камерах сягало 12% в південній частині рудного покладу. Встановлено [13-15], що в 80% випадках руйнування порід висячого боку під дією гірського тиску спостерігаються в центральній і південній частині рудного покладу при заміщенні кварцитів гематит-мартитового складу при міцності $f = 14$ на кварц-хлорит-серіцитових сланців зниженої міцності $f = 8$ і стійкості, зменшення кута падіння з 70 до 65° і при збільшенні горизонтальної потужності рудного покладу з 70 до 100 м.

Крім обвалювань порід висячого боку в процесі відпрацювання камер спостерігаються випадки обвалювань рудного масиву. Основні області руйнувань рудного масиву у покрівлі камери або з вертикальних бокових відслонень камери, що відпрацьовується. Руйнування обумовлені низькою стійкістю гематито-мар-

титової руди $f = 4 - 8$, високою тріщинуватістю та механізмом утворення склепіння природної рівноваги, яка для очисних камер є еліпсоподібною. Існуюча прямокутна форма камер (розріз вхрест простягання) під дією гравітаційних сил призводить до її руйнування боків рудного масиву, де виникають розтягуючі напруження, формуючи еліпсоподібну форму. Обвалювання рудного масиву завдають збитків у меншій мері у зрівнянні з іншими геомеханічними проблемами, але створюють незручності в процесі ведення гірничих робіт.

Після відпрацювання камер вироблений простір заповнюється твердіючою сумішшю, яка з часом перетворюється у монолітний масив. За результатами аналізу шахтної документації і маркшейдерських зйомок очисних просторів камер у поверсі майже відпрацьованому на теперішній час поверсі 640-740 м випадків обвалення закладки зафіксовано не менш ніж в 18 камерах (в основному другої черги відпрацювання), причому основними зонами вивалів є покрівля та боки камер. Покрівля камери другої черги представлена закладним масивом закладеної камери вищерозташованого поверху, а боки – закладним масивом закладеної сусідньої камери.

Ефекту руйнування закладного масиву сприяє також поява на його контурі небезпечних розтягуючих напружень, значення яких можуть перевищувати міцність закладки на розтяг [16-18]. Крім того, слабостійкі області вертикальних відслонень закладного масиву роблять його неоднорідним і сприяють формуванню концентрацій напружень на його контурі, орієнтують напрямки вивалів закладного масиву в очисний простір [19-21].

Форми руйнувань природного та техногенного масиву наведено на рис. 2

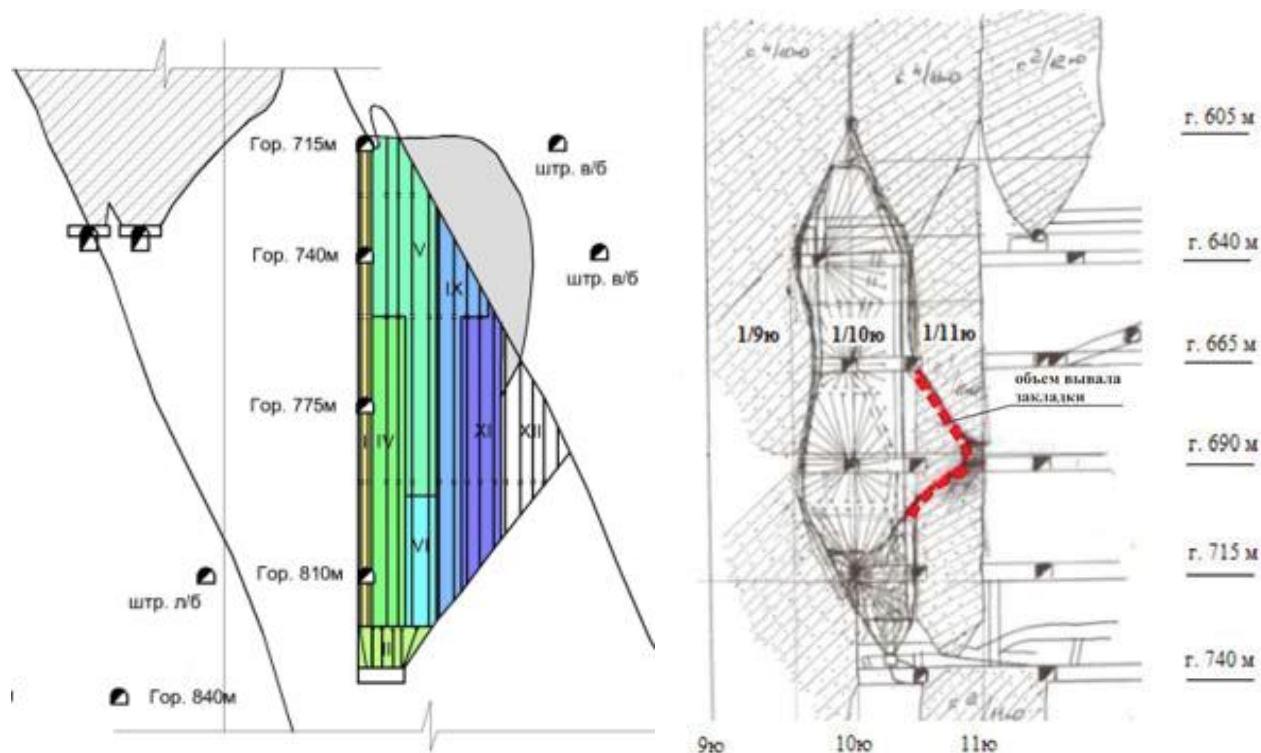


Рис. 2. Характерні форми та області обвалення масиву в процесі підземного видобутку залізної руди: природний (а); штучний (б)

Відмічені геомеханічні проблеми та наслідки зниження стійкості вміщуючих порід, руди та закладного масиву при підземній розробці можна узагальнити в таблицю.

Таблиця 1

Геомеханічні проблеми та наслідки зниження стійкості природно-техногенного масиву при підземній розробці залізних руд із закладанням

Вид масиву	Геомеханічні проблеми	Місце виникнення	Наслідки
Природний	Обвалення вміщуючих порід всячого боку	Породи всячого боку	<ul style="list-style-type: none"> ✓ збільшення обсягу камери під закладання ✓ зниження вмісту заліза у вилученій руді ✓ підвищення собівартості видобутку руди ✓ погіршення стійкості підготовчих виробок і рівня безпеки ведення гірничих робіт ✓ складність управління середньою якістю руди по камерах ✓ витрати на вторинне подрібнення ✓ залишення (консервування) запасів при крупних обвалюваннях
	Обвалення рудного масиву	Рудний масив покрівлі та боків камер першої черги відпрацювання	<ul style="list-style-type: none"> ✓ витрати на вторинне подрібнення ✓ формування незручних контурів камер, що ускладнює очисні роботи ✓ підвищення собівартості видобутку руд
Техногенний	Обвалення закладного масиву	Закладний масив покрівлі та боків камер другої черги	<ul style="list-style-type: none"> ✓ суттєве зниження вмісту заліза у вилученій руді ✓ підвищення собівартості видобутку руди ✓ витрати на вторинне подрібнення ✓ Збільшення обсягу камери під закладання

Заходи щодо ліквідації наслідків порушення масивів гірських порід при відкритій розробці родовищ. При відкритій розробці родовищ особливої уваги заслуговує стійкість бортів кар'єрів та відвалів, що безпосередньо впливає на безпечне ведення гірничих робіт [22].

Так, у результаті зсуву, що виник на відвалі № 2 Петровського кар'єра ПрАТ «ЦГЗК» були порушені 1,42 га орних земель. Крім того, виникла необхідність в проведенні заходів по ліквідації наслідків зсуву. У зв'язку з цим, співробітниками НДГРІ (м. Кривий Ріг) та НТУ «Дніпровська політехніка» були розглянуті чотири варіанти проведення робіт із приведення поверхні порушеного відвалу у безпечний стан. Перший варіант полягає в прибиранні тіла зсуву до ліцензованої межі земельного відводу і розвантаження укусу відвалу на ділянці зсуву до стійкого стану. Другий варіант – залучення порушеної площі в земельний відвід. Третій – використання площі, порушеної зсувом для складування гірської маси

(рис. 3). Четвертий – прибирання зсуву до межі земельного відводу без виположування укосу.

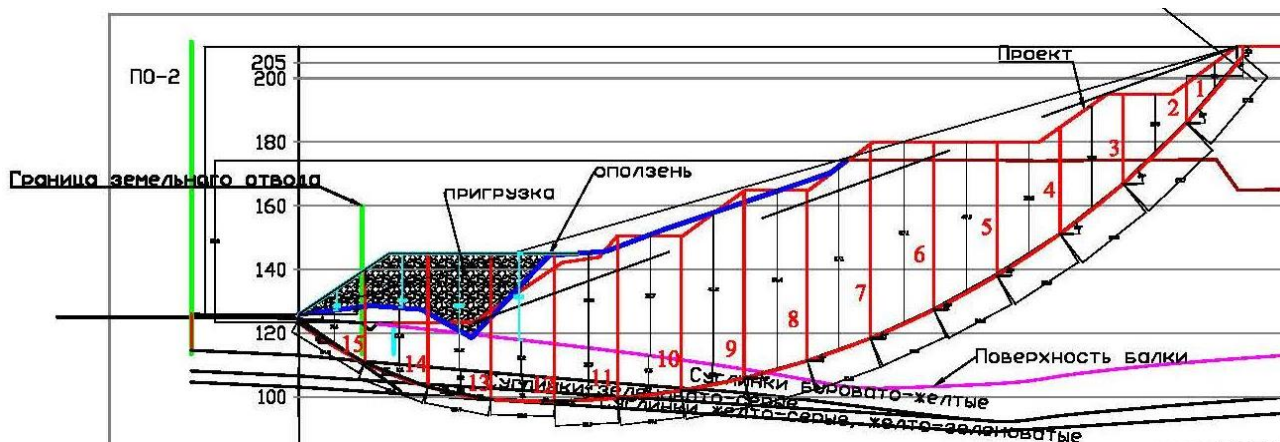


Рис. 3. Схема до визначення стійкості породного масиву відвалу при ліквідації наслідків зсуву за варіантом із привантаженням гірничою масою (третій варіант)

Послідовність заходів щодо стійкості відвалу за третім варіантом виглядає наступним чином.

Зсув, що сформувався, залишається в існуючих межах. Робляться роботи по будівництву обвідної канами уздовж зсуву з укріпними роботами і розміщенням бетонних плит. Законодавчо врегулюється питання земельного відведення під відвал. На відвалі організується перевантажувальний пункт. На перевантажувальному пункті екскаватором типу порода відвантажуються в автосамоскиди і доставляється до місця зсуву. У районі місця зсуву формується піонерний насип на горизонт +145 м. Формування піонерного та привантажувального насипів робиться бульдозером. Гірнича маса, що доставляється автосамоскидами, розвантажуються на привантажувальному насипі і формується бульдозером.

З точки зору технологічних рішень найбільш ефективним є третій варіант, який дозволяє розмістити додатково об'єми порід розкриття як в привантажувальному насипі (385,14 тис.м³), так і сформувати відвал по висоті в межах проектних контурів із забезпеченням стійкості відвала. Також технологічним рішенням є формування відвалу з прибиранням зсуву (варіант 1), для чого попередньо необхідно виконати роботи зі зменшення результуючого кута укосу за рахунок прибирання частини ярусів відвалу і формування призми привантаження в основі зсуву.

На основі розрахунків отримані значення коефіцієнтів запасу стійкості, що свідчать про достовірність вибору третього варіанту (табл. 1).

Другий і четвертий варіанти не можуть бути реалізовані через загрозу повторного виникнення зсуву. Тому було прийнято рішення розглянути перший і третій варіант з точки зору економічної доцільності (табл. 2)

Для реалізації варіанту 3 необхідно включити в земельний відвід 2,5 га прилеглих земель. Це пов'язано зі значними витратами, спрямованими на узгодження гірничих робіт з власником землі, складанням нового проекту земельного відводу, а також інші витрати, пов'язані з роботою юридичних служб.

Таблиця 1

Розріз м.п.	Загальна стійкість відвалу після прибирання верхнього ярусу відвалу (+174,0 і +160,0м) і приведення його укосу до 15°	Стійкість нижніх ярусів після прибирання верхнього ярусу	Стійкість нижніх ярусів після прибирання другого ярусу (+160,0 і +150,0 м) між м.п. 180 і м.п. 190	Стійкість нижніх ярусів після прибирання другого ярусу відвалу (+160,0 і +150,0 м) і підсипки підпорної призми між м.п. 180 і м.п. 190
м.о. 210	1,43	1,34	–	–
м.о. 180	1,62	0,87	0,94	1,11/*1,24

Таблиця 2

Техніко-економічні показники

Найменування показника	Варіант 1	Варіант 3
Термін експлуатації відвала, роки	5	7
Залишкова ємність відвалу, тис. м ³	2744,5	3683
Наведені сукупні витрати, млн. грн	66,8	60,2
Загальні наведені витрати на 1 м ³ формування і рекультивації відвалу, грн	24	16
Площа земельного відводу, га	145	147,5

У той же час, при проведенні ліквідації наслідків зсуву по варіанту 1, за рахунок необхідності виположування борту відвалу, знижується його залишкова ємність і, як наслідок, термін експлуатації. Крім того, незважаючи на зменшення залишкової ємності відвалу, наведені сукупні витрати і витрати на 1 м³ при формуванні та рекультивації відвалу за варіантом 1 перевищують такі при реалізації варіанта 3.

Висновки. В інтервалі глибин 480 – 840 м виникли серйозні проблеми стійкості природно-техногенного масиву, викликані зростаючим з глибиною гірським тиском, впливом на масив вибухових робіт, відмінністю геологічних умов, що призводить до обвалення порід, руди і закладки у вироблений простір камер. Аналіз характеру і форми проявів гірського тиску дозволили встановити, що порушення контурів очисного простору відбувається в похилому відслоненні камер на контакт з породами висячого боку рудного покладу.

Виявлено, що при відпрацюванні камер в висячому боці покладу основна інтенсивність обвалень і засмічення руди вміщуючими породами приурочена до центральної та південної частини рудної довжиною, у якому відмічається 70% цих випадків. Встановлено, що концентрація обвалень порід висячого боку і показники засмічення видобутої руди посилюється при зміні їх морфологічного

складу, зниженні міцності і стійкості цих порід, зниження кутів падіння рудного покладу і збільшенні потужності рудного покладу.

Виявлено, що основними зонами вивалів штучного масиву є покрівля та боки камер. Слабостійкі області вертикальних відслонень закладного масиву, внаслідок шаруватої та різноміцнісної будови за висотою роблять його неоднорідним і сприяють формуванню концентрацій напружень на його контурі, орієнтують напрямки вивалам закладного масиву в очисний простір.

Для запобігання порушень земель при веденні відвалоутворення в умовах засипки балок ярів і відпрацьованих кар'єрів рекомендується, по-перше, дотримуватися проектні параметри роботи відвалу, а по-друге виділити для складування порід розкриву ділянку землі, що оточує балку. Перше рішення дозволить мінімізувати ризик виникнення зсуву, друге – дозволить створити привантаження для протидії силам, видавлювати породи борту балки.

Прибирання зсуву відвала до меж земельного відведення може привести до повторних проявів зрушення порід. Відвал знаходиться в граничній рівновазі, що небезпечно для техніки і людей працюючих в основі відвала.

При формуванні відвалу з урахуванням зсуву, що сформувався, є два рішення для подальшого будівництва: перше зменшення висоти відвала з дотриманням кута результуючого укосу в межах 16 градусів і друге - будівництво привантажувальних насипів в районі зсуву, що сформувався. Привантажувальні насипи зменшують результуючий кут і створюють додаткове навантаження для утримуючих сил.

Перелік посилань

1. USGS – United States Geological Survey. (2018). Mineral Resources Program. [online]. Available at: <http://minerals.usgs.gov/>
2. Державна фіскальна служба України. (2019). Available at: <http://sfs.gov.ua/>
3. Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., & Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24–38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>
4. Булат, А.Ф., Четверик, М.С., Бубнова, Е.А., & Левченко, Е.С. (2017). Проблемы и перспективы использования нарушенных открытыми и подземными разработками геологических сред. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, (1), 90-97.
5. Peregudov, V.V., Gritsina, A.E., & Dragun, B.T. (2010). Current state and future development of iron-ore industry in Ukraine. *Metallurgical and Mining Industry*, 2(2), 145-151.
6. Ступник, Н.И., & Письменный, С.В. (2012). Перспективные технологические варианты дальнейшей отработки железорудных месторождений системами с массовым обрушением руды. *Вісник Криворізького Національного Університету*, (30), 3-6.
7. Khomenko, O., Kononenko, M., & Myronova, I. (2017). Ecological and technological aspects of iron-ore underground mining. *Mining of Mineral Deposits*, 11(2), 59–67. <https://doi.org/10.15407/mining11.02.059>
8. Kuzmenko, O., Petlyovanyu, M., & Heylo, A. (2014). Application of fine-grained binding materials in technology of hardening backfill construction. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 465-469. <https://doi.org/10.1201/b17547-79>

9. 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.
10. Zubko, S.A., & Petlovanyi, M.V. (2018). Экономическая целесообразность оптимизации параметров системы разработки рудной залежи в неустойчивых вмещающих породах. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (55), 39-52.
11. Forster, K., Milne, D., & Pop, A. (2007). Mining and rock mass factors influencing hangingwall dilution. *Rock Mechanics: Meeting Society's Challenges and Demands*, 1361-1366.
<https://doi.org/10.1201/noe0415444019-c169>
12. Urli, V., & Esmaili, K. (2016). A stability-economic model for an open stope to prevent dilution using the ore-skin design. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, (82), 71-82.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2015.12.001>
13. 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>
14. Кузьменко, А.М., & Петлёваный, М.В. (2014). Влияние структуры горного массива и порядка отработки камерных запасов на разубоживание руды. *Геотехнічна механіка*, (118), 37-45.
15. Chistyakov, E., Ruskih, V., & Zubko, S. (2012). Investigation of the Geomechanical Processes while 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>
16. 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>
17. Emad, M.Z. (2017). Numerical modelling approach for mine backfill. *Sādhanā*, 42(9), 1595-1604.
<https://doi.org/10.1007/s12046-017-0702-0>
18. 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.
19. Кононенко, М.М., Петльований, М.В., & Зубко, С.А. (2014). Напружено-деформований стан масиву навколо камер другої черги відпрацювання. *Геотехнічна механіка*, (115), 120-130.
20. Timoshuk, V., Demchenko, J., & Sherstuk, Y. (2010). The role of natural and technogenic components in failure of geomechanical stability of the territories which are in the influence zone of mining objects. *New Techniques and Technologies in Mining*, 189-192.
<https://doi.org/10.1201/b11329-31>
21. Kuzmenko, O., & Petlovanyi, M. (2015). Substantiation the expediency of fine gridding of cementing material during backfill works. *Mining of Mineral Deposits*, 9(2), 183-190.
<https://doi.org/10.15407/mining09.02.183>
22. Дриженко А.Ю., Шустов, А.А., Адамчук, А.А., & Никифорова, Н.А. (2017). Совершенствование технологии открытой разработки железорудных карьеров Украины при их углубке. *Зб. наук праць НГУ*, 52. 79-86.

АННОТАЦИЯ

Цель. Привести наиболее существенные проблемы разработки рудных месторождений Украины с точки зрения сохранения устойчивости природно-техногенных массивов и разработать рекомендации по решению указанных проблем.

Методика. Для расчета параметров устойчивости отвала № 2 Петровского карьера ЧАО «ЦГОК» применяется метод алгебраического сложения сил по наиболее напряженной поверхности. При выборе целесообразного варианта ликвидации последствий оползня применяется метод технико-экономического сравнения. Геомеханические проблемы и последствия снижения устойчивости вмещающих пород, руды и закладочного массива при подземной разработке были систематизированы методом обобщения.

Результаты. По результатам анализа шахтной документации и маркшейдерских съемок очистных пространств камер на почти отработанном в настоящее время этаже 640-740 м случаев обрушения закладки зафиксировано не менее чем в 18 камерах, причем основными зонами вывалов есть кровля и стороны камер. Установлено, что совокупные расходы на ликвидацию последствий образования сдвига площадью 2,5 га составляют 66,8 и 60,2 млн. грн. соответственно по варианту с уборкой тела оползня и вариантом с использованием нарушенной площади для дополнительного складирования пород вскрыши.

Научная новизна. Установлено, что величины осадки массива горных пород достигли 70-195 мм. Скорость осадок массива на отдельных участках достигла величины 4 – 6 мм/мес. Приведена классификация геомеханических проблем и последствий снижения устойчивости природно-техногенного массива при подземной разработке железных руд с закладкой.

Практическое значение. Выявленные геомеханические проблемы разработки рудных залежей с закладкой полезны для разработки мероприятий по повышению устойчивости элементов систем разработки. Предложено четыре варианта ликвидации последствий оползня: уборка тела оползня в лицензированной границы земельного отвода и разгрузки откоса отвала на участке сдвига к устойчивому состоянию; вовлечение нарушенной площади в земельный отвод; использование площади, нарушенной оползнем для складирования горной массы; уборка оползня до предела земельного отвода без выполаживания откоса. С точки зрения устойчивости горного массива и экономической целесообразности к применению рекомендуется третий вариант.

Ключевые слова: *устойчивость породного массива, разработка рудных месторождений, осадка горного массива, ликвидация последствий оползня, закладка выработанного пространства.*

ABSTRACT

Purpose. To give the most significant problems in the development of ore deposits in Ukraine from the point of view of maintaining the sustainability of natural-technogenic massifs and develop recommendations for solving these problems.

The methods. To calculate the stability parameters of the blade No. 2 of the Petrovsky surface mine of the PSC “TsGOK”, the method of algebraic addition of forces along the most stressed surface is used. When choosing the appropriate option to eliminate the consequences of a landslide, the method of technical and economic comparison is used. Geomechanical problems and the consequences of reducing the stability of the host rocks, ore and stowing massif during underground mining were systematized by the generalization method.

Findings. According to the results of the analysis of mine documentation and surveying of the chamber's treatment spaces, the floor of the currently almost completed floor of 640-740 m of bookmark collapse

cases was recorded in at least 18 chambers, with the roof and sides of the chambers being the main dump areas. It has been established that the total costs of eliminating the consequences of the formation of a shift of 2.5 ha are 66.8 and 60.2 million UAH, respectively, according to the variant with the landslide body cleaning and the variant using the excited area for additional storage of overburden rocks.

The originality. It is established that the values of sedimentation of the massif of rocks reached 70-195 mm. The settling velocity of the array in some areas reached 4 - 6 mm / month. The classification of geomechanical problems and consequences of reduction of stability of natural-technogenic massif at underground mining of iron ores with laying is resulted.

Practical implication. The geomechanical problems with the development of ore deposits with a bookmark are useful for developing measures to increase the stability of elements of development systems are identified. Four options are proposed for eliminating the consequences of a landslide: cleaning the body of a landslide at the licensed border of land allotment and unloading the slope of the dump at the site of shift to a steady state; attraction of disturbed area to land allotment; the use of the area disturbed by the shift for storing the rock mass; harvesting the shift to the limit of land allotment without flattening the slope. From the point of view of the stability of the slope and economic feasibility, the third option is recommended.

Keywords: *rock mass stability, development of ore deposits, massif subsidence, liquidation of the landslide consequences, laying of worked out space.*