

М.І. СТУПНІК, Д.В. БРОВКО, В.О. КАЛІНІЧЕНКО, доктори техн. наук, професори,  
М.Б. ФЕДЬКО, канд. техн. наук, доц., М.А. ГРИЩЕНКО, асистент  
Криворізький національний університет  
А.В. БОЛОТНІКОВ, канд. техн. наук, О.І. ЧИРВА, канд. техн. наук, доц.  
ТОВ «Гірничопромисловий та будівельний інжиніринг»  
О.Г. АЙГАРС, гол. землевпорядник, ПрАТ «ЦГЗК»

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЙНИХ ПЕРСПЕКТИВ ВІДВАЛУ № 4 ЦЕНТРАЛЬНОГО ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ, ПІДПРАЦЬОВАНОГО ПІДЗЕМНИМИ ГІРНИЧИМИ РОБОТАМИ

**Мета** дослідження полягає у визначенні фактичного стану масиву гірських порід в підшві та тілі відвалу № 4 ПрАТ «ЦГЗК», розташованого в зоні впливу гірничих робіт шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка», та встановленні рекультиваційних перспектив даної земельної ділянки.

**Методами дослідження** є візуальне обстеження ярусів та відкосів відвалу і прилеглої території, аерофотознімання об'єктів, аналіз стану підземного виробленого простору та геофізичні дослідження, геомеханічні розрахунки та математичне моделювання стійкості гірських порід методом кінцевих елементів.

**Наукова новизна** дослідження полягає у встановленні впливу підземних гірничих робіт на стан денної поверхні та прогнозуванні розвитку процесу зрушення гірських порід та деформації земної поверхні, підпрацьованих підземними гірничими роботами.

**Практичне значення:** встановлено фактичний стан земельної ділянки відвалу № 4, підпрацьованої гірничими роботами шахти «Ювілейна», та визначені перспективи її рекультивації.

**Результати.** Встановлені фактичні границі зон зсуву земної поверхні, утворення тріщин, терас, воронок та провалів. Встановлено, що при веденні поточних гірничих робіт на шахті «Ювілейна» вихід воронок на денну поверхню в районі розміщення відвалу № 4 є неможливим внаслідок затухання цього процесу у масиві гірських порід. Отримані при математичному моделюванні процесу деформації гірського масиву під впливом підземних гірничих робіт дані свідчать, що ця ділянка знаходиться у зоні некритичних деформацій, які не загрожують масовим обваленням масиву. Разом з тим дані геофізичних досліджень показали на окремих ділянках протікання у масиві порід активних геодинамічних процесів, що свідчить про наявність порожнин на раніше відпрацьованих горизонтах. Враховуючи їх значно меншу глибину розташування існує потенційна небезпека, що при впливі поточних гірничих робіт (особливо масових вибухів) з часом це може призвести до їх самообвалення з утворенням на деяких ділянках провалів або воронок. За результатами досліджень виконано прогнозування розвитку процесу зрушення гірських порід та земної поверхні і здійснено зонування земельної ділянки відвалу за ступенем безпеки виконання робіт з його рекультивації.

**Ключові слова:** підземна розробка, гірські породи, порожнини, мульда зрушення, геодинамічні процеси, напружено-деформований стан, деформація поверхні, воронкоутворення, маркшейдерські спостереження, геофізичні дослідження.

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Видобування природно багатих залізних руд на шахтах Кривбасу здійснюють системами розробки з обваленням руди і вміщуючих порід. Це призводить до порушень денної поверхні, які можуть бути як у вигляді плавних осідань і терасо утворень, так і у вигляді провалів і воронок, що знаходяться у зоні можливого воронкоутворення (так званої «зони обвалення»), де знаходження людей і ведення будь-яких робіт суворо заборонено.

При цьому слід враховувати, що воронкоутворення імовірісніше за своєю природою, процес зрушення масиву гірських порід є тривалим, а реальна картина стану поверхні є кращою від прогнозованого рівня її деформації. Тобто фактичний стан поверхні не відображає потенційну небезпеку, яка криється за розвитком цих процесів у часі та їх суттєвим відставанням, оскільки вихід реальної зони обвалення на свої проєктні контури займає, як правило, десятки років. Але внаслідок впливу зовнішніх факторів, особливо динамічного характеру, цей процес може пришвидшуватись до миттєвого його розвитку. Прикладом цього може слугувати техногенна катастрофа 13 червня 2010 року на шахті ім. Орджонікідзе (нині шахта ім. Колачевського) Центрального ГЗК, де під час виконання планових підривних робіт на горизонті -447 м відбулося раптове обвалення денної поверхні на площі близько 16 га, внаслідок чого утворилося провалля глибиною від 10 до 80 м.

Таким чином, безпечне використання підроблених підземними гірничими роботами територій неможливо без налагодженого контролю за процесом деформування масиву гірських порід і земної поверхні. Одними із основних методів його здійснення є маркшейдерські та геофізичні спостереження. Їх використання забезпечує визначення параметрів деформування земної поверхні та розташованих на ній об'єктів (будівель, споруд, ЛЕП тощо), які попадають в зону впливу підземних гірничих робіт з отриманням кількісної інформації про виникнення і розвиток деформаційних процесів у часі та просторі.

Починаючи з середини ХХ-го століття в Криворізькому залізничному басейні все більшого розповсюдження набуває використання підроблених підземними гірничими роботами територій для розміщення на них кар'єрів та відвалів (ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПрАТ «ІнГЗК», ПрАТ «ЦГЗК», ПрАТ «ПівнГЗК» та інші), для забезпечення безпечного використання яких крім маркшейдерських інструментальних та візуальних спостережень впроваджуються різні методи моніторингу: за допомогою глибинних реперів, фотограмметричного знімання, електрометричні, гравіметричні, георадіолокаційні, звукометричні та біолокаційні спостереження. Більшість з них пройшла апробацію на гірничих підприємствах Кривбасу і використовуються маркшейдерськими службами шахт і гірничо-збагачувальних комбінатів басейну для спостережень за станом підземного виробленого простору та за стійкістю бортів кар'єрів і відвалів, у тому числі при проведенні повторної та сумісної розробки залізничних родовищ.

Сутність проблеми полягає у тому, що земельна ділянка, надана для розміщення відвалу № 4 ПрАТ «ЦГЗК», на якому досліджується можливість його рекультивациі, розташована у межах гірничого відводу шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суша Балка», а саме у висячому боці покладів багатих залізних руд, які протягом багатьох десятиліть відпрацьовуються підземним способом. Ця земельна ділянка практично повністю розміщена у зоні активних деформаційних процесів, внаслідок чого на ній заборонені рекультивацийні роботи з через небезпеку їх виконання. У той же час екологічний відділ міськвиконкому наполягає на проведенні вищезазначених робіт на безпечних ділянках.

Для визначення фактичного стану масиву гірських порід в підшві та тілі відвалу № 4 ПрАТ «ЦГЗК» та встановлення можливості безпечного виконання робіт з рекультивациі цієї земельної ділянки згідно чинних нормативних документів [1-4] був реалізований комплекс досліджень, результати яких наведені у даній статті.

**Аналіз досліджень і публікацій.** В Криворізькому басейні протягом майже ста років здійснюються регулярні спостереження за зсувами гірських порід та земної поверхні, які в різні часи виконували відповідні спеціалізовані організації: Центральне науково-дослідне маркшейдерське бюро (ЦНДМБ), Криворізький опорний пункт Всесоюзного науково-дослідного маркшейдерського інституту (ВНДМІ), Криворізьке відділення Всесоюзного науково-дослідного та проектно-маркшейдерського інституту (ВІОГЕМ), Державне науково-виробниче підприємство по маркшейдерським, екологічним, геомеханічним та гідротехнічним дослідженням (ДНВП «МЕГД»), Центральна виробничо-дослідна маркшейдерська лабораторія (ЦВДМЛ) та інші. На основі цих робіт були розроблені та затверджені «Правила охорони споруд і природних об'єктів від шкідливого впливу підземних гірничих робіт у Криворізькому залізничному басейні» [3]. Вказівки щодо дослідження процесу зрушення гірських порід та земної поверхні при розробці родовищ корисних копалин приведені у роботах [5-8]. Розробці методів для контролю та заходів для безпечного ведення відкритих гірничих робіт на кар'єрах № 1 та № 2 ЦГЗК у зонах впливу підземних рудників Кривбасу присвячені дослідження, приведені у роботах [9,10]. Дослідження зрушення гірських порід та земної поверхні з використанням геофізичних методів, які проводились переважно на гірничодобувних підприємствах Кривбасу й на підставі яких встановлені певні закономірності даного процесу та їх залежність від конкретних гірничо-геологічних умов, приведені у роботах [11,12]. У роботі [13] приведені результати багаторічних досліджень процесу деформування гірських порід та земної поверхні в полі шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суша Балка», за якими було проведено районування підпрацьованих територій на предмет їх використання у народному господарстві. Результати досліджень імовірності утворення воронки та провалів в кар'єрах ПрАТ «ЦГЗК», які пов'язані з підземними гірничими роботами, та заходи безпеки при веденні робіт над порожнинами, які виявлені у гірському масиві, викладені у роботі [14]. Результати виконаних маркшейдерських інструментальних спостережень за розвитком процесу зсуву поверхні та станом об'єктів, що охороняються, при підземній розроб-

ці залізних руд шахтами ПрАТ «Суха Балка» [15] дали змогу відслідкувати його динаміку та вплив на стан земної поверхні, визначити межі зон зсувів, тріщин, терас, воронок та провалів.

**Постановка завдання.** Дослідження можливості безпечного виконання робіт з рекультивациі земельної ділянки відвалу № 4 ПрАТ «ЦГЗК» передбачали наступні роботи:

збір, систематизація та аналіз вихідних даних про фактичне положення підземних гірничих робіт в зоні відвалу №4 ПрАТ «ЦГЗК» та інженерно-геологічну будову масиву гірських порід в підшві відвалу;

вивчення фактичного стану зони обвалення порід висячого боку в межах розташування земельної ділянки, на якій розташовано відвал № 4 та геофізичні дослідження різними методами стану масиву гірських порід в основі відвалу;

визначення потенційної небезпеки виходу воронок на денну поверхню в зоні відвалу № 4 у випадку руйнування підземних порожнин;

інженерно-геодезичні дослідження і геомеханічні розрахунки стійкості бортів і ярусів відвалу № 4 та підземних порожнин із встановленням мультисередовищного впливу зони можливого воронокотворення й визначення проектних параметрів зони обвалення порід висячого боку родовища залізних руд шахти «Ювілейна» у цілому та на найближчу перспективу;

безпекове зонування території земельної ділянки відвалу з опрацюванням рекомендацій і заходів по безпечному виконанню рекультивацийних робіт.

**Викладення матеріалу та результати.** Вивчення гірничо-геологічної будови гірського масиву, на якому розташована земельна ділянка відвалу № 4 показало, що породи перекриваючої Гданцівської і основної рудоносною Саксаганської світи залягають у нормальній стратиграфічній послідовності із загальним західним падінням. Породи сланцевих і залізистих горизонтів чергуються поміж собою й представлені різними видами сланців, мартитовими, гетит-гематитовими і магнетитовими кварцитами, які мають коефіцієнт міцності від 9-10 до 14-16 балів за шкалою проф. М.М. Протода'яконова. Основним тектонічним порушенням є Західний розлом, який в районі родовища шахти «Ювілейна» представлений Тарапаківським насувом, що розвивається значно західніше й істотного впливу ні на структуру, ні на рудоносність не має. Наразі гірничі роботи на даній шахті з видобутку багатих залізних руд здійснюють у поверсі 1420-1340 м із застосуванням переважно технології підповерхового обвалення.

В процесі дослідження фактичного стану зони обвалення порід висячого боку в межах розташування земельної ділянки, на якій розташовано відвал № 4, був здійснений комплекс візуально-інструментальних спостережень, суть яких полягала у фіксації видимих проявів порушень стійкості відкосів гірничих виробок, характеру тріщинуватості масиву та стану поверхні, водопоявленнь під впливом підземних гірничих робіт на шахті «Ювілейна», сейсмічних наслідків від проведення масових вибухів у кар'єрі № 1 ПрАТ «ЦГЗК» та пересування залізничних потягів коліями Укрзалізниці і ПрАТ «Суха Балка».

Проведені геофізичні дослідження ділянки розміщення відвалу № 4 методами електророзвідки (ВЕЗ), георадіолокації та гравіметрії. Для цього були створені дві профільні лінії (рис. 1), на яких за допомогою інструментальної геодезичної зйомки закріплені опорні точки.

Обстеження передвідвальної території на захід від відвалу дало можливість виявити на земній поверхні терасу, розташовану в м.о. 123...176 та ЛСП +832...+1080 м. Вона розміщується на центральній ділянці зони зсуву, для якої є характерним розширення її меж при пониженні гірничих робіт. При цьому в районі реперів 13 та 14 профільної лінії "IV", закладеної маркшейдерською службою ПрАТ «Суха Балка», висота тераси становить біля 1,5 м. Її загальна довжина на сьогодні перевищує 600 м. Східний відкіс нижнього ярусу відвалу розташовується безпосередньо в зоні воронок і провалів. На ньому на кількох ділянках мають місце зсуви, які є порівняно свіжими: на них практично відсутня рослинність (трава, кущі тощо). Такі зсуви виявлені на ділянках, розміщених в м.о. 90...105 і ЛСП +350...+400 м та в м.о.110...130 і ЛСП +350...+400 м. На ярусах з висотними позначками 107-156 м були виявлені окремі ділянки, на яких відбулося сповзання порід відкосу в результаті просідання масиву відвалу. На з'їзді між висотними позначками 100-115 м (м.о. 25...30 та ЛСП +580...+600 м) виявлено три просідання поверхні відвалу глибиною 1,5–2 м та діаметром 3–5 м. На ярусі відвалу з висотною позначкою +144 м виявлено воронку, яка розділила даний ярус на дві частини. Воронка розміщується в

м.о. 146...157 та ЛСП +530...+700 м. Воронка дещо менших розмірів розташована на ярусі з висотною позначкою 128 м (м.о. 165...178 та ЛСП +750...+790 м).



**Рис. 1.** Схема розташування профільних ліній 1-1 і 2-2 на території земельної ділянки відвалу № 4

За результатами проведених геофізичних досліджень встановлено, що в південній частині підніжжя відвалу № 4 в маркшейдерських осях 40-100 територія відвалу характеризується інтенсивним розушільненням порід на глибину. За даними ВЕЗ товща розбита на окремі блоки. В центральній частині першої профільної лінії (28-40 ПК) на глибині 60-80 м сформувалась ділянка з відносно стабілізованим рухом порід. У її крайових частинах відмічається інтенсивне розушільнення порід з активним їх переміщенням. Цей висновок підтверджений показниками зміни гравітаційного поля: в межах пікетів 6-8 спостерігалися підвищені значення  $\Delta G$ . Наявність активного зволоження порід за даними ВЕЗ можна також відмітити в інтервалі між пікетами 8-28. За даними георадіолокаційних досліджень в цій же зоні також фіксується зволоження порід.

Аналіз характеру руху гірського масиву в межах профільної лінії № 1 свідчить про підвищену мобільність ділянок у крайових частинах профілю, де утворюються розриви, відбувається накопичення і розвантаження напруженого стану масиву, що призводить до вертикальних переміщень: підняття або опускання блоків. В центральній частині даного профілю ці процеси є менш активними.

Геофізичні дослідження в межах другого профілю північної частини підніжжя відвалу № 4 в м.о. 280-200 також фіксують розушільнення порід на глибину. Однак дані ВЕЗ показали, що товща квазірівномірно розбита на окремі блоки, схожі за своєю формою та розмірами. Показники зміни гравітаційного поля в межах пікетів 11-19 свідчили про підвищення значення  $\Delta G$ .

Активне зволоження порід за даними ВЕЗ зафіксоване в інтервалі між м.о. 160-200. Георадіолокаційні дослідження у цій зоні також фіксують зволоження порід. Характер руху гірського масиву вказаних осей свідчить про інтенсивну відкриту тріщинуватість у межах визначеного інтервалу зволоження порід. Наявність відкритої тріщинуватості провокує постійний рух блоків у межах виділеної ділянки. Виходячи з зазначеного, дана ділянка також характеризується активним утворенням розривів масиву з постійним розвантаженням його напруженого стану, що призводить до вертикальних переміщень блоків.

Аналіз маркшейдерської інформації, опрацьованої спільно з технічними службами ПрАТ «Суха Балка», показав, що при розробці на шахті «Ювілейна» переважно відокремлених рудних покладів (гнізд) у поверсі 1420-1340 м утворилося близько двох десятків порожнин. Вивченням динаміки формування та існування порожнин встановлено, що станом на 01.04.2022 року переважну їх більшість було ліквідовано. Залишилась лише одна порожнина, утворена при

відпрацюванні покладу «Гніздо 1-2» у блоці 130+10-134V об'ємом 66,7 тис. м<sup>3</sup>, яка була локалізована. Дослідження потенційної небезпеки виходу воронки на денну поверхню у випадку руйнування цієї порожнини приводять до висновку, що подальший розвиток гірничих робіт на шахті «Ювілейна» не призведе до виходу воронок на денну поверхню при обваленні порожнин, утворених при відпрацюванні відокремлених рудних покладів, оскільки процес розвитку склепін затухне не досягнувши поверхні шляхом їх самообвалення у масиві гірських порід за рахунок заповнення порожнин розпушеними обваленими вміщуючими породами.

Дослідження процесів деформації гірського масиву і денної поверхні у межах земельної ділянки відвалу № 4 було здійснене шляхом математичного моделювання методом кінцевих елементів. На основі геологічної інформації за допомогою спеціалізованої комп'ютерної програми Ansis 2021-P2 були створені кінцево-елементні моделі, що були прив'язані до маркшейдерських осей 128, 150 та 186. Вказані осі знаходяться в центральній частині мульди зрушення порід висячого боку, де деформаційні процеси є найбільш інтенсивними. Розміри кожної моделі охоплюють гірський масив на глибину 1500 м від денної поверхні та від 0 до 1400 відміток базисних ліній ЛСП навхрест простягання родовища.

Основні фізико-механічні властивості гірських порід, закладені у структуру кінцево-елементних моделей, приведені у табл. 1.

На першому етапі розглядалася повна відробка покладів залізних руд у поверсі 1420-1340 м, де наразі здійснюють їх видобуток на ш. «Ювілейна».

Таблиця 1

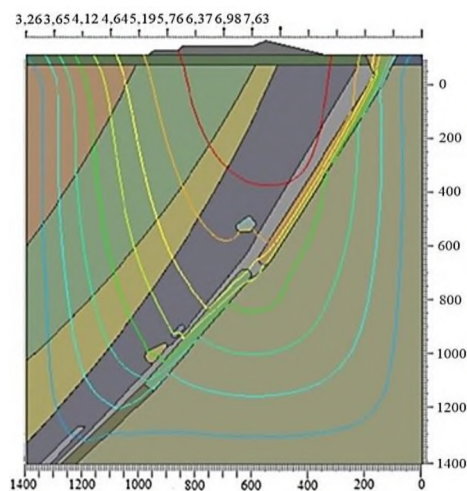
Основні фізико-механічні властивості гірських порід

| Параметр                     | Один. виміру      | Руда  | Вміщуючі породи (індекси горизонтів) |                   |                 |                   |              |        | Обвалені породи |
|------------------------------|-------------------|-------|--------------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|--------------|--------|-----------------|
|                              |                   |       | $PR_{Isx}^{Is}$                      | $PR_{Isx}^{6-7f}$ | $PR_{Isx}^{7s}$ | $PR_{Isx}^{6-7f}$ | $PR_{Igd_2}$ | наноси |                 |
| Коефіцієнт міцності          | бали              | 4-6   | 9-10                                 | 12-14             | 11-13           | 14-16             | 9-10         | 1-2    | 0,3             |
| Питома вага                  | кг/м <sup>3</sup> | 3600  | 2800                                 | 3200              | 3250            | 3430              | 3100         | 2300   | 2400            |
| Межа міцності на стиснення   | МПа               | 40    | 90                                   | 105               | 95              | 120               | 85           | 10     | 5               |
| Межа міцності на розтягнення | МПа               | 4,0   | 7,0                                  | 8,0               | 7,2             | 9,0               | 6,5          | 1,0    | 0,2             |
| Модуль Юнга                  | МПа               | 25000 | 55000                                | 52000             | 60000           | 65000             | 52000        | 10000  | 3000            |
| Коефіцієнт Пуассона          | —                 | 0,28  | 0,26                                 | 0,22              | 0,25            | 0,23              | 0,21         | 0,32   | 0,35            |

**Примітка:**  $PR_{Isx}^{Is}$  – сланці кварц-хлоритові, біотит-хлоритові, кварц-хлорит серицитові;  $PR_{Isx}^{6-7f}$  – кварцити мартитові;  $PR_{Isx}^{7s}$  – кварцити гетит-гематитові;  $PR_{Isx}^{6-7f}$  – кварцити магнетитові;  $PR_{Igd_2}$  – сланці графіт-кварц-біотитові, кварц-серицит-біотитові.

На рис. 2 наведено результати обчислень зі значеннями вертикальних зміщень поверхні у контрольних точках масиву в 186 маркшейдерській осі, які для зручності подальшої обробки та аналізу отриманих даних були прив'язані до відповідних базисних ліній. Зведені результати визначення вертикальних зміщень по вищезазначеним маркшейдерським осям приведені у табл. 2.

Для верифікації абсолютних значень отриманих величин були використані дані контрольних спостережень за розвитком зсуву поверхні [15], виконані групою спеціальних маркшейдерських досліджень ПрАТ «Суша Балка» у 2021 році. Для спостереження за денною поверхнею у висячому боці залізрудних покладів, відпрацювання яких здійснює шахта «Ювілейна», закладені 7 профільних ліній, кожна з яких налічує від десятка до майже півсотні реперів. Закладання перших реперів датовано 1973-1974 роками, останніх – 2018 роком, тобто на різних ділянках деформаційні процеси відслідковується від 5 до 50 років. Співставлення даних показало, що динаміка осідання денної поверхні навхрест простягання мульди зрушення є такою ж, як і за результатами моделювання, що вказує на адекватність загальної картини отриманих характеристик поведінки масиву гірських порід у моделі та в натурних умовах, а різниця у абсолютних значеннях деформацій знаходиться у межах похибки їх обчислень.



**Рис. 2.** Результати розрахунку деформацій денної поверхні з числовими значеннями вертикальних зміщень в контрольних точках масиву в 186 м.о. при відпрацюванні покладів залізних руд до глибини 1420 м

Таблиця 2

Вертикальні зміщення (осідання) денної поверхні при відпрацюванні запасів руди у поверсі 1420-1340 м на ш. «Ювілейна», м

| Маркш. осі \ ЛСП | 600  | 700  | 800  | 900  | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 128              | 4,62 | 4,20 | 3,83 | 3,51 | 3,24 | 2,96 | 2,53 | 2,18 | 1,85 |
| 150              | 6,71 | 6,25 | 5,80 | 5,37 | 4,92 | 4,38 | 3,86 | 3,32 | 2,71 |
| 186              | 7,63 | 6,98 | 6,37 | 5,76 | 5,19 | 4,64 | 4,12 | 3,65 | 3,26 |

На другому етапі моделювання з метою отримання прогнозних даних стосовно величин деформації денної поверхні розглядалася повна відробка покладів залізних руд на шахті «Ювілейна» у наступному поверсі 1500-1420 м. У табл. 3 приведені результати визначення вертикальних зміщень другого етапу моделювання по маркшейдерським осям 128, 150 та 186.

Таблиця 3

Вертикальні зміщення (осідання) денної поверхні при відпрацюванні запасів руди у поверсі 1500-1420 м на ш. «Ювілейна», м

| Маркш. осі \ ЛСП | 600  | 700  | 800  | 900  | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 128              | 4,85 | 4,43 | 4,02 | 3,68 | 3,39 | 3,10 | 2,65 | 2,28 | 1,95 |
| 150              | 6,99 | 6,49 | 6,01 | 5,56 | 5,09 | 4,53 | 3,99 | 3,43 | 2,84 |
| 186              | 7,98 | 7,30 | 6,64 | 5,97 | 5,38 | 4,81 | 4,27 | 3,78 | 3,37 |

Порівнюючи дані другого етапу моделювання з попередніми констатуємо зростання абсолютних значень вертикальних зміщень, в залежності від місця розташування контрольних точок, на 10-35 см. Враховуючи що із збільшенням глибини робіт зростають й обсяги підпрацьованого гірського масиву, а також той фактор, що це займе приблизно 12-15 років, такий загальний рівень опускання поверхні є цілком реальним.

Отримані при математичному моделюванні процесу деформації гірського масиву під впливом підземних гірничих робіт на шахті «Ювілейна» дані свідчать, що вищезазначена земельна ділянка знаходиться головним чином у зоні некритичних деформацій денної поверхні, які не загрожують масовим обваленням гірського масиву, підпрацьованого гірничими роботами цієї шахти.

Разом з тим аналізом гірничо-геологічної документації встановлено, що на вище розташованих відпрацьованих горизонтах можуть бути порожнини, на існування яких вказують активні геодинамічні процеси, що протікають у гірському масиві, та дані проведених геофізичних спостережень. Судячи з їх орієнтовних (за результатами опрацювання геологічної документації) розмірів, та враховуючи їх значно меншу глибину розташування від денної поверхні (від 200-300 до 500 м), існує потенційна небезпека їх самообвалень, спровокованих поточними гірничими роботами, особливо масовими вибухами, та з плином часу.

Геомеханічні розрахунки стійкості бортів та ярусів відвалу № 4 здійснені на основі інженерно-геодезичних досліджень та даних з фізико-механічних властивостей гірських порід у підошві та тілі відвалу № 4. За основу для розрахунку стійкості бортів та ярусів відвалу № 4 ПрАТ «ЦГЗК» взято положення гірничих робіт станом на грудень 2022 року, отримане за результатами проведеної аерофотозйомки. Використовувалися вертикальні розрізи з фактичного положення гірничих робіт, геологічні розрізи залягання порід та фізико-механічні властивості порід відвалу і його основи, які знаходяться в районі призми можливого зрушення. Ці розрахунки також були проведені з використанням методу кінцевих елементів з використанням побудованих 2-D та 3-D моделей відвалу.

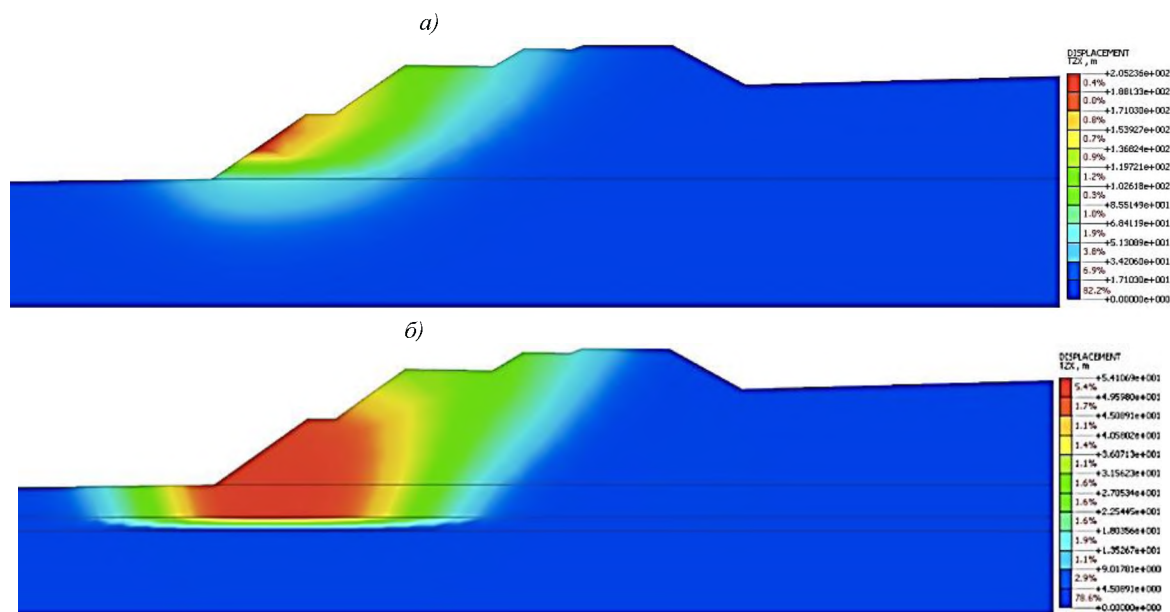
Дослідження були виконані по декільком розрізам. Вибір розташування розрізів обумовлений необхідністю охопити розрахунками всі борти відвалу з одного боку та розумною достатністю їх обсягу з іншого. Розрахунки стійкості бортів та ярусів відвалу з урахуванням залягання порід і нанесеними найбільш небезпечними поверхнями зрушення, а також розрахованими коефіцієнтами запасу стійкості (КЗС) наведені на рис. 3.

В узагальненому вигляді результати виконаних розрахунків наведено в табл. 4.

За результатами геомеханічних розрахунків стійкості відвалу № 4 з використанням 2-D моделей значення коефіцієнту запасу стійкості знаходиться у межах 1,17–2,07 для характеристик

міцності порід основи в природному стані та  $K3C=1,13-1,44$  для обводненого стану порід основи відвалу. Значення  $K3C$ , яке є меншим від нормативного (1,30), отримане для ділянки відвалу, яку характеризує розріз 7. За результатами розрахунків з використанням 3-D моделей значення  $K3C$  знаходиться в межах 1,25 – 2,32 для характеристик міцності порід основи відвалу в природному стані. Значення  $K3C=1,25$ , який є менше нормативного, отримане для ділянки відвалу в секторі 5. На інших ділянках відвалу ступінь запасу стійкості відповідає нормативним значенням.

Отримані результати досліджень масиву різними методами дали можливість здійснити зонування території земельної ділянки відвалу № 4 у контексті можливого виконання робіт з рекультивації за ступенем небезпеки виконання робіт.



**Рис. 3.** Розрахунок стійкості відвалу по розрізу 1: *а* - породи основи у природному стані ( $K3C = 2,07$ ); *б* - з моделюванням обводнення порід в основі відвалу ( $K3C = 1,44$ )

Розрахунок стійкості відвалу № 4 методом кінцевих елементів з використанням 2-D моделей

Таблиця 4

| № розрізу     | Стан основи відвалу | Горизонт, м | Висота, м | Кут нахилу, град. | Коефіцієнт запасу стійкості ( $K3C$ )* |
|---------------|---------------------|-------------|-----------|-------------------|----------------------------------------|
| 1             | природний           | +130/+110   | 20        | 31                | 2,07                                   |
|               | обводнений          |             |           |                   | 1,44                                   |
| 2             | природний           | +115/+95    | 20        | 35                | 1,67                                   |
|               | обводнений          |             |           |                   | 1,33                                   |
| 3             | природний           | +142/+120   | 22        | 40                | 1,36                                   |
|               | обводнений          |             |           |                   | 1,28                                   |
| 4             | природний           | +132/+110   | 22        | 40                | 1,35                                   |
|               | обводнений          |             |           |                   | 1,20                                   |
| 5             | природний           | +130/+105   | 25        | 34                | 1,33                                   |
|               | обводнений          |             |           |                   | 1,15                                   |
| 6             | природний           | +152/+118   | 34        | 28                | 1,30                                   |
|               | обводнений          | +152/+85    | 47        | 21                | 1,19                                   |
| 7             | природний           | +132/+98    | 34        | 33                | 1,17                                   |
|               | обводнений          | +125/+92    | 33        | 33                | 1,13                                   |
| 8, поверхня 1 | природний           | +108/+70    | 38        | 27                | 1,34                                   |
|               | обводнений          |             |           |                   | 1,30                                   |
| 8, поверхня 2 | природний           | +125/+70    | 55        | 14                | 1,93                                   |
|               | обводнений          |             |           |                   | 1,38                                   |

\* коефіцієнт запасу стійкості розрахований при моделюванні основи відвалу у природному та обводненому стані при куті внутрішнього тертя, відповідно 18° і 6-10°, та зчепленні 0,04 МПа і 0,01 МПа

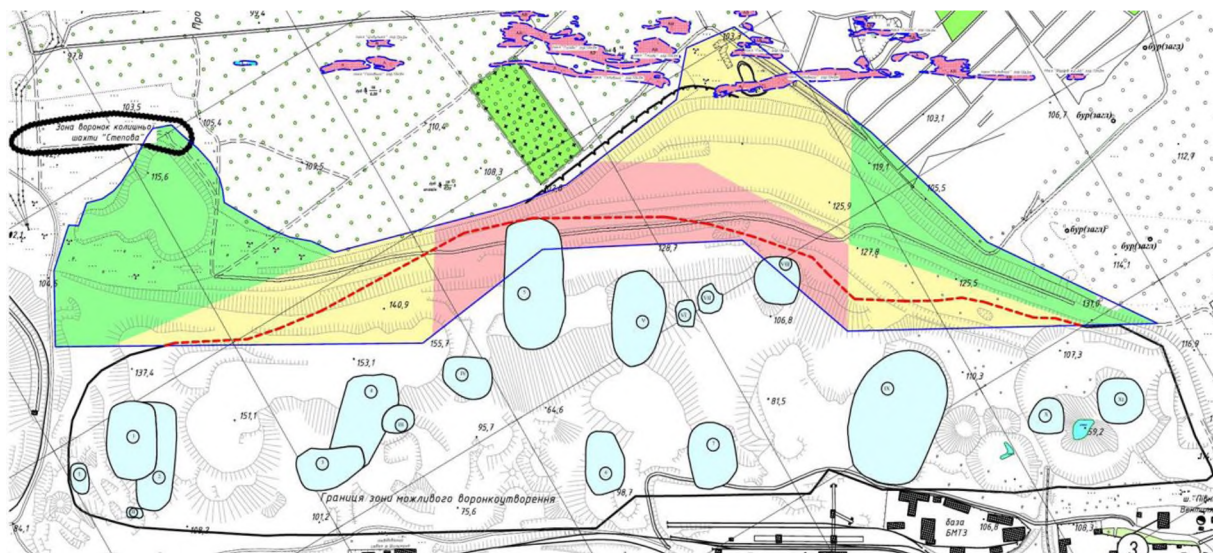
*Перша, небезпечна зона* розташована у центральній частині мульди зрушення, де вельми ймовірний вихід воронок на денну поверхню і де проведення рекультиваційних робіт не є можливим принаймні у найближчі 5-10 років, оскільки на цій території спостерігаються активні геомеханічні процеси, які не дозволяють організувати роботи з дотриманням необхідного рівня безпеки їх виконання. Ця зона простягається у вигляді смуги від 100 до 200 м.о.: у межах м.о. 100-140 земельна ділянка відвалу № 4 повністю потрапляє у цю зону; в м.о. 140-200 з одного боку вона межує із земельним відводом ПрАТ «Суша Балка», з іншого боку вона простягається від 140 до 165 м.о. – до ЛСП 800 + 110 м, й далі по діагоналі до ЛСП 600 + 130 м у 200 м.о.

*Друга, потенційно небезпечна зона* розташована на декількох ділянках: в м.о. 20-100 у вигляді прямокутного трикутника, довга сторона якого межує із земельним відводом ПрАТ «Суша Балка», а діагональ простягається від границі земельної ділянки відвалу № 4 в м.о. 20 до ЛСП 600 + 100 м в м.о. 75 й далі по межі земельного відводу до 100 м.о.; поза межами небезпечної зони в м.о. 140-200 й далі від 200 до 260 м.о. також у вигляді прямокутного трикутника, довга сторона якого межує із земельним відводом ПрАТ «Суша Балка», а діагональ простягається від ЛСП 600 + 130 м в м.о. 200 до межі ділянки земельного відводу у м.о. 260.

У межах даної зони ймовірний вихід воронок на денну поверхню або її суттєві деформації у вигляді просідання, внаслідок чого проведення рекультиваційних робіт можливе тільки після підтвердження затухання активних геомеханічних процесів вторинного воронкоутворення в гірському масиві, яке повинно бути зафіксоване висновками динамічних геофізичних та маркшейдерських спостережень на ділянці, що досліджується.

*Третя, умовно безпечна зона* розташована на двох ділянках: у південному торці мульди зрушення порід висячого боку за межами потенційно небезпечної зони у межах м.о. 10-75, та у північному торці мульди у межах м.о. 200-274 поза межами потенційно небезпечної зони та зони можливого воронкоутворення. Проведення робіт з рекультивації у цій зоні можливе за умови проведення постійного моніторингу активності геомеханічних процесів на цих ділянках.

На рис. 4 зображено зонування території земельної ділянки відвалу № 4 за ступенем небезпеки.



**Рис. 4.** Зонування території відвалу № 4: ■ - перша зона, ■ - друга зона, ■ - третя зона; --- границя ділянки земельного відводу ПрАТ «ЦГЗК»; - - зона можливого воронкоутворення, яка потребує встановлення попереджувальних знаків

Відповідно до виконаного зонування були опрацьовані рекомендації та заходи по безпечному виконанню робіт з рекультивації відвалу № 4.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Виконаний комплекс досліджень дав змогу встановити фактичний стан масиву гірських порід, на якому розташована земельна ділянка відвалу № 4 ПрАТ «ЦГЗК», та спрогнозувати подальший розвиток мульди зрушення від ведення підземних гірничих робіт на шахті «Ювілейна» ПрАТ «Суша Балка» і вплив даного процесу на стан денної поверхні. Відповідно до цього було здійснене безпекове зонування зе-

мельної ділянки відвалу № 4 та запропоновані рекомендації та заходи по безпечному виконанню робіт з рекультивції даної земельної ділянки. Враховуючи наявну необхідність проведення робіт з рекультивції та забезпечення їх безпеки, рекомендується здійснення моніторингу активності геомеханічних процесів на ділянці з метою фіксації активності геомеханічних процесів за допомогою наявних геофізичних та інструментально-маркшейдерських методів.

#### Список літератури

1. Гірничий закон України: - м. Київ 6 жовтня 1999 р. № 1127-IV-XIV. ВВР, 1999, № 50, ст. 433.
2. Закон України про охорону навколишнього природного середовища: Відомості Верховної Ради України, 1991, № 41, ст. 546.
3. НПАОН 13.1-1.01-75. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ в Криворожском железорудном бассейне. - Ленинград : ВНИМИ, 1975. - 68 с.
4. НПАОП 0.00-1.24-10. Правила охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом. [На заміну НПАОП 0.00-1.33-94; чинні від 23.03.2018]. - Харків: Індустрія, 2020. - 104 с.
5. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. - Л. Ленинград: ВНИМИ, 1971. - 187 с.
6. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. - Ленинград : ВНИМИ, 1987. - 177 с.
7. НПАОН 74.2-5.01-21. Правила виконання маркшейдерських робіт під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин. [На заміну НПАОН 74.2-5.01-85, НПАОН 74.2-5.03-85, НПАОН 74.2-5.06-85; чинні від 27.07.2021]. Вид. офіц. - Харків: Індустрія, 2021. - 260 с.
8. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений. - Москва: Недра, 1988. - 112 с.
9. Исследование и разработка методов, обеспечивающих безопасное ведение горных работ в условиях карьеров № 1 и № 2 ЦГОКа: Отчет по НИР / КГРИ, рук. Сосик Д.И. - Кривой Рог, 1982. - 89 с.
10. Разработка мероприятий по безопасной отработке карьера № 1 и № 2 ЦГОКа до глубины 300-500 м в зонах влияния подземных разработок рудников им. К. Либкнехта, им. Коминтерна, им. Фрунзе и им. XX партсъезда: Отчет по НИР / КГРИ, рук. Сазонов В.А. - Кривой Рог, 1978. - 58 с.
11. Сазонов В.А., Сосик Д.И. Геофизика в маркшейдерском деле. - Москва: Недра, 1989. - 120 с.
12. Сдвижение горных пород и земной поверхности при разработке рудных залежей Криворожского бассейна / К.К. Байчук, А.Л. Малахов, В.Н. Романенко, А.В. Сазонов // В кн. IX международный конгресс по маркшейдерскому делу, Чешская республика, 18-22 июня 1994 г. Том-доклады. - Прага, 1994. - С. 542-544.
13. Исследование и прогноз характера процесса сдвижения с районированием подрабатываемых территорий при отработке глубоких горизонтов шахт Кривбасса на предмет использования в народном хозяйстве. Отчет о НИР/ ГНПП "МЭГТИ", рук. Сазонов А.В. - Кривой Рог, 1995. - 94 с.
14. Кучер Б.Ф., Моисеев Б.Ф., Сазонов А.В. Образование воронок-провалов в карьере ПАО «ЦГОК» // Гірничий вісник, № 95 (1), КНУ, 2012. - С. 39-43.
15. Контрольні спостереження за розвитком процесу зсуву поверхні та станом об'єктів, що охороняються, при підземній розробці залізних руд шахтами ПрАТ «СУХА БАЛКА» у 2021 році: Звіт групи спеціальних маркшейдерських досліджень ПрАТ «Суха Балка». - Кривий Ріг, 2021. - 180 с.

Рукопис подано до редакції 01.03.2023

УДК 622.271

С.О. ЛУЦЕНКО, канд. техн. наук, доц., С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф.,  
Ю.І. ГРИГОР'ЄВ, канд. техн. наук, доц., С.О. ФЕДОРЕНКО, ст. викл.  
Криворізький національний університет

### СИСТЕМНІ НЕВІДПОВІДНОСТІ ЗА ТРАДИЦІЙНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРІВ

**Мета** дослідження полягає в уточненні закономірностей утворення відхилень від проектів за умов підвищення динаміки зовнішніх впливів на функціонування кар'єрів.

**Методами дослідження** є ретроспективний, компаративний та каузальний аналіз розвитку невідповідності між видобувними та розкривними роботами у кар'єрі як чинника коригувань гірничих проектів, а також – оцінка періодичності даного явища.

**Наукова новизна** дослідження полягає в установленні системного характеру параметричних реакцій «кар'єр-системи» на зміну інтенсивності принципово значимих для неї кон'юнктурних коливань актуальної цінності руди.

**Практичне значення:** встановлення головних детермінантів перегляду принципів проектування розвитку гірничих робіт в кар'єрі адекватно динаміці стрибків цін на руду та обсягів потенційного її збуту, а також – приведення