

І.Г. Сахно  
С.В. Сахно  
А.В. Петренко  
О.О. Баркова

## ВПЛИВ ЗАТОПЛЕННЯ ВИРОБЛЕНИХ ПРОСТОРІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ НА ЗСУВИ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ НА ПРИКЛАДІ ШАХТИ «КОТЛЯРЕВСЬКА»

**Мета.** Дослідження впливу затоплення вироблених просторів лав на активізацію зсувних процесів на підробленій земній поверхні.

**Методика.** У роботі використано метод інженерно-графічного аналізу при розрахунку параметрів мульди зрушень за нормативною методикою. Для проведення досліджень впливу затоплення на зсуви земної поверхні використано метод кінцевих елементів, реалізований в програмному комплексі Ansys. Задача вирішена у пружно-пластичній постановці з врахуванням гетерогенності гірських порід.

**Результати.** Відповідно до умов південної частини шахтного поля проведено побудову мульди зсуву, побудовано план ізоліній осідань з нанесенням об'єктів поверхневої інфраструктури. Визначено поверхневі об'єкти, ризик руйнування яких зростає при затопленні шахти. Визначено положення лінії розрізу, що характеризує найбільш небезпечне положення. Після аналізу і узагальнення результатів чисельного експерименту встановлено, що затоплення вироблених просторів 1 і 2 південних лав південного похила пласта  $l_1$  ш. Котляревська, призводить до активізації зсувів земної поверхні. При цьому вертикальні осідання в мульді зрушень при затопленні на повну висоту зони впорядкованого руйнування зростають на 22,4%, а ширина мульди зростає не пропорційно – на 1,3%. Це сприяє суттєвому зростанню небезпек для об'єктів поверхневої інфраструктури через збільшення нахилів і кривизн.

**Наукова новизна** полягає у встановленні особливостей зміни осідань поверхні в зоні підробки внаслідок затоплення вироблених просторів лав.

**Практичне значення.** Результати досліджень можуть бути використані при прогнозі осідань і інших елементів зсувів в мульді зрушення, що активізуються внаслідок затоплення вироблених просторів. При цьому забезпечується можливість своєчасного планування і розробки комплексу заходів з охорони об'єктів поверхневої інфраструктури від негативного впливу підробки.

**Ключові слова:** зсуви земної поверхні, підробка поверхні, мульда зрушень, затоплення шахт, прогноз зсувів.

### Вступ.

Підземна розробка родовищ корисних копалин викликає порушення рівноважного стану в масиві гірських порід, провокує незворотні деформації і переміщення порід в зоні підробки, що в кінцевому результаті віддзеркалюється на земній поверхні у вигляді зсувів. Ці явища негативно впливають на об'єкти поверхневої інфраструктури, водні і агропромислові об'єкти.

Рухи земної поверхні можуть бути причиною порушення гідрогеологічної рівноваги і змін гідрогеологічних режимів підземних і ґрунтових вод. Внаслідок цього зростає ризик затоплення вироблених просторів підземними водами, що рухаються під дією гравітаційних сил шляхами, утвореними системою тріщин внаслідок підробки. Такий вид затоплення будемо називати затопленням «зверху-вниз». В свою чергу затоплення викликає зміни фізико-механічних властивостей порід, що

провокує розвиток деформаційних процесів в земній товщі і поглиблює негативні наслідки підробки.

Ще одним явищем, характерним для вугільних шахт українського Донбасу, є затоплення вироблених просторів після закриття старих шахт і підвищення рівня шахтних вод. Постійно зростає і без того високий ризик підвищення водопритоків в гірничі виробки і вироблені простори через зупинки в роботі шахт, викликані веденням військових дій. В цих випадках будемо говорити про затоплення «зверху-вниз».

Вказані явища свідчать про важливість своєчасного прогнозування зсувів земної поверхні і розробки відповідних заходів з охорони об'єктів поверхневої інфраструктури внаслідок затоплення вироблених просторів вугільних шахт. Таким чином, тема дослідження є актуальною.

**Аналіз досліджень за темою.**

Процеси зсувів і деформацій породної товщі в зоні підробки очисними роботами вивчаються вже більше 60 років. Загальні закономірності зсувних процесів достатньо добре вивчені і покладені в основу відповідних нормативних документів, що враховують регіональні особливості. Для умов українського Донбасу параметри мульди зрушення розраховуються відповідно до Правил підробки [1].

Проте реальні геомеханічні процеси можуть істотно відрізнятися від ідеалізованих, через наявність систем геологічних порушень різної амплітуди і орієнтації, гетерогенності гірських порід, зміни їх фізико-механічних властивостей внаслідок техногенних впливів на гідрогеологічні процеси, тощо. Саме ці особливості є предметом досліджень вчених, що присвітили свої роботи цій проблемі.

На даний момент активізація процесів зсувів поверхні над виробленими просторами лав, через їх затоплення вивчені не достатньо.

Гідрогеологічні дослідження [2, 3] затоплення вироблених просторів в умовах Донбасу, вказують, що водопритоки при затопленні формуються за рахунок:

- інфільтрації атмосферних опадів;
- живлення транзитними водами, що містяться у приповерхневому водоносному горизонті;
- за рахунок бічного притоку.

Перші два фактори не піддаються впливу, оскільки викликані в першу чергу кліматичними і геологічними особливостями району. Проте їх гідрологічні параметри характеризуються невеликим відхиленням від середнього значення і, при проведенні відповідних досліджень, можуть бути враховані через введення кореляційних коефіцієнтів.

Інтенсивність затоплення і геометрія затоплених зон визначається техногенними чинниками, що залежать в першу чергу від технології очисних робіт (система розробки, спосіб управління покрівлею, спосіб охорони підготовчих виробок, швидкість посування лави). Основними шляхами транзиту підземних вод, як в напрямку «зверху-вниз», так і «знизу-вверх» є порожнини і відкриті тріщини.

Водонасичення порід призводить до порушення рівноваги в породній товщі і

руйнування попередньо сформованих склепінь рівноваги, внаслідок зниження міцносних параметрів порід і зміни їх деформаційних характеристик. Результатом є повторні зсуви гірських порід і земної поверхні. Оскільки в нормативних документах при розрахунку параметрів мульди зрушень міцності і деформаційні параметри порід не враховуються, вивчення вказаних процесів ведеться іншими методами:

- шляхом натурних спостережень [4, 5, 6];
- фізичним моделюванням [7, 8];
- комп'ютерним моделювання [9-13].

На основі результатів моніторингу GPS спостережень, і вимірювань на поверхневих реперних станціях в роботах [4-5] проаналізовано характеристики деформацій та тріщин земної поверхні.

Проф. Назаренко [6] за результатами натурних інструментальних спостережень розроблена просторово-часова модель формування мульди зрушення для умов вугільних шахт Західного Донбасу. Запропоновано новий тип ізоліній – хроноізоосідання, що характеризують час і місце виникнення у мульді осідань певної величини.

В роботах [7, 8] вивчено процеси зсувів верхніх шарів, що спровоковані гірничими роботами, проаналізовано закономірності еволюції тріщин методами вимірювання та фізичного моделювання.

В світовій практиці широку популярність отримав програмний пакет Surface Deformation Prediction System (SDPS) [9-11]. SDPS має комплексний підхід, і базуються на емпіричних або регіональних параметрах. Модель кількісно визначає різноманітні індекси деформації земної поверхні як для довговибірних систем, так і для камерної системи розробки.

В SDPS в мульді зрушень, за допомогою функції Гауса, може розраховуватись горизонтальне зміщення як лінійна функція першої похідної від осідання та горизонтальна деформація як перша похідна горизонтальних зміщень. Останні рішення в пакеті SDPS дозволяють вести розрахунок деформації та напружень вздовж профілю для випадкових точок прогнозу шляхом обчислення 3D-відстаней між сусідніми поверхневими точками [10,

11]. Оскільки SDPS ґрунтується на статистичному аналізі, він не дає можливості досліджувати механізм активізації зсувів при затопленні вироблених просторів.

Цих недоліків позбавлені сучасні методи чисельного моделювання. Для виконання досліджень деформування породної товщі в зоні підробки і зрушень земної поверхні використовуються різні програмні пакети на базі методу кінцевих різниць (FDM), (FLAC3D) [12, 13], методу кінцевих елементів (ANSYS) [14, 15, 16], методу дискретних елементів [17].

В роботі [12] проаналізовано геомеханічні процеси під час видобутку вугілля за допомогою FLAC3D. Вчені виявили, що моделювання процесу затоплення з використанням FLAC3D для імітації інтенсифікації зрушень при видобутку вугілля було достатньо точним.

В роботі [13] FLAC3D використовувався для проведення чисельного моделювання деформацій гірничого масиву і поверхні, обумовлених видобутком вугілля. На основі було виконано прогноз осідань поверхонь, викликаних гірничовидобувними процесами. В роботі проведено порівняння поетапного моделювання деформування порід при відпрацювання пласта без затоплення і з затопленням. Порівняння результатів моделювання з фото спостереженнями на поверхні підтвердило, що моделювання за допомогою чисельних методів дозволяє отримати достатню збіжність результатів.

В роботі [14] використовувався метод кінцевих елементів та метод граничних елементів для встановлення двох моделей та оцінки рівня руйнування та порушеності масиву, що виникли внаслідок операцій з видобутку вугілля.

Прогноз зсувів земної поверхні методом кінцевих елементів був в центрі уваги вчених УкрНДМІ. Так в роботі [15] наведено методику створення моделі зрушень масиву над виробленим простором лави, що оснований на чисельному нелінійному рішенні методом кінцевих елементів в ANSYS. Приведено приклад розрахунку зрушень для умов шахти «Краснолиманська». В роботі [16] наведені результати чисельного моделювання

затоплення на активізацію зрушень над одиночною лавою.

В роботі [17] використовувався метод дискретних елементів, який на думку авторів є ефективним способом моделювання процесу видобутку вугільного пласта та вивчення процесів підробки.

З наведеного аналізу випливає, що моделювання за допомогою чисельних методів дозволяють наочно уявити процес деформування масиву і підробленої поверхні і отримати достатню точність результатів моделювання.

У зв'язку з цим **метою роботи** є дослідження впливу затоплення вироблених просторів лав на зсуви підробленої земної поверхні методом чисельного математичного моделювання.

#### **Коротка характеристика ділянки дослідження.**

Поле шахти «Котляревська», розташовано в південно-східній частині Покровського району Донецької області України. Біля західної межі шахтного поля розташовано м. Селидове. У межах шахтного поля й поблизу його розташовані села Новомиколаївка, Михайлівка й Котляревка. На території ділянки шахти розташовані села Михайлівка й Маринівка. Ці села знаходяться в зоні підробки.

Середньорічний водоприток становить  $500 \text{ м}^3$ . Коефіцієнт водообільності становить  $22,6 \text{ м}^3/\text{т}$ .

Об'єктом дослідження є породна товща над південною похиловою частиною шахтного поля, а саме ділянкою 1 і 2 південних лав південного похила пласта  $l_1$ .

Середня потужність пласта на досліджуваній ділянці становила 1,05 м, кут падіння змінювався від 11 до 13 градусів. Ділянка дослідження включала вироблені простори двох лав. Глибина закладання вентиляційного штреку 1 південної лави пласта  $l_1$  – 376м, глибина закладання конвеєрного штреку 2 південної лави пласта  $l_1$  – 476 м.

На поверхні, що підроблюється розташовані траса Донецьк-Новгородівка, Донецьк-Селидове, село Михайлівка. Викопіювання з плану гірничих виробок з нанесеними об'єктами поверхні наведено на рисунку 1.

Автошлях Донецьк - Селидове потрапляє в зону підробки лавами південної

частини поля. При цьому траса розташована майже вхрест до протягання порід.

Під час проведення досліджень лінія зазначеної траси була обрана в якості лінії розрізу (рис. 1) для побудови чисельної моделі.

#### Методи дослідження.

В роботі використано метод інженерно-графічного аналізу і метод чисельного моделювання.

Під час аналітичного визначення елементів зрушень в мульдї зсуву в головних перетинах проведено розрахунки і графічні побудови, відповідно до рекомендації ДСТУ 101.00159226.001-2003 [1].



A-A – лінія розрізу

**Рис. 1.** Виколювання з плану гірничих виробок суміщене з планом поверхні

Математичне моделювання проведено методом кінцевих елементів, реалізованим в програмному комплексі Ansys. Задача вирішувалась в пружно-пластичній постановці. В якості стандартної моделі поведінки матеріалу, що імітував гірські породи, прийнято модель Друкера-Прагера.

Вихідні дані для моделювання (модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, коефіцієнт зчеплення, кут внутрішнього тертя і кут ділатансії) були взяті з кадастру фізичних властивостей гірських порід [18], відповідно до стратиграфічної колонки порід. При цьому породи моделювалися гетерогенними. Варіація фізико-механічних властивостей порід вздовж і поперек нашарування визначена відповідно до методики, яка використовувалась в роботі [19], що в

цілому узгоджується з дослідженнями проф. В.В. Ржевського.

Уникаючи надмірної деталізації при моделюванні вели групованні властивостей порід по їх міцності, користуючись середньозваженими показниками. Породи поєднувались у групи за умови різниці їх міцностей менше ніж на 25%. Такий підхід є допустимим, оскільки кінцевою метою було не дослідження деформування товщі в зоні підробки, а виключно аналіз змін в зсувах поверхні.

Оскільки моделювали породну товщу над вже відпрацьованими лавами, в моделі було закладено наявність зони безладного руйнування, висота якої становила 8 потужностей пласта і зони впорядкованого обвалення, що відповідає загальноприйнятним уявленням [20, 21]. Розмір зони впорядкованого обвалення був прийнятий 60% довжини лави. При цьому для моделювання процесів затоплення зона була поділена по висоті на дві частини з висотами 40 і 60% від загальної висоти.

Загальний вигляд і розміри моделі зазначені на рис. 2.

Моделювання проводилось в об'ємній постановці. Через очевидну симетрію моделі відносно довжини виїмкового стовпа товщина моделі була прийнята значно меншою за інші її розміри і становила 10 м. Бічні грані моделі фіксувались від відповідних нормальних переміщень, нижня грань – від вертикальних рухів. Модель навантажувалась виключно гравітаційними силами.

Дослідження складалось з трьох кейсів:

- базова модель (затоплення відсутнє);
- модель з затопленням 40% зони впорядкованого обвалення;
- модель з затопленням 100% зони впорядкованого обвалення.

Геометрія і сітка кінцевих елементів в моделях були однаковими, що унеможливило накопичення помилок розрахунку з вказаних причин.

Для моделювання поведінки порід в зонах безладного руйнування і впорядкованого обвалення було використано коригування їх властивостей з врахуванням тріщинуватості. Для цього було використано критерій Хоєка-Брауна [22].

Для врахування впливу вологи на властивості порід було зменшено модуль деформації в зоні затоплення. Основою такого рішення є численні експериментальні роботи вітчизняних і закордонних вчених [23, 24] в яких наведено розлогу дискусію, щодо впливу вологи на деформаційні і

міцності властивості порід. Очевидно, цей вплив залежить від багатьох факторів, в першу чергу типу порід (а точніше вмісту в них глинистих часток) і ступеня водонасичення.

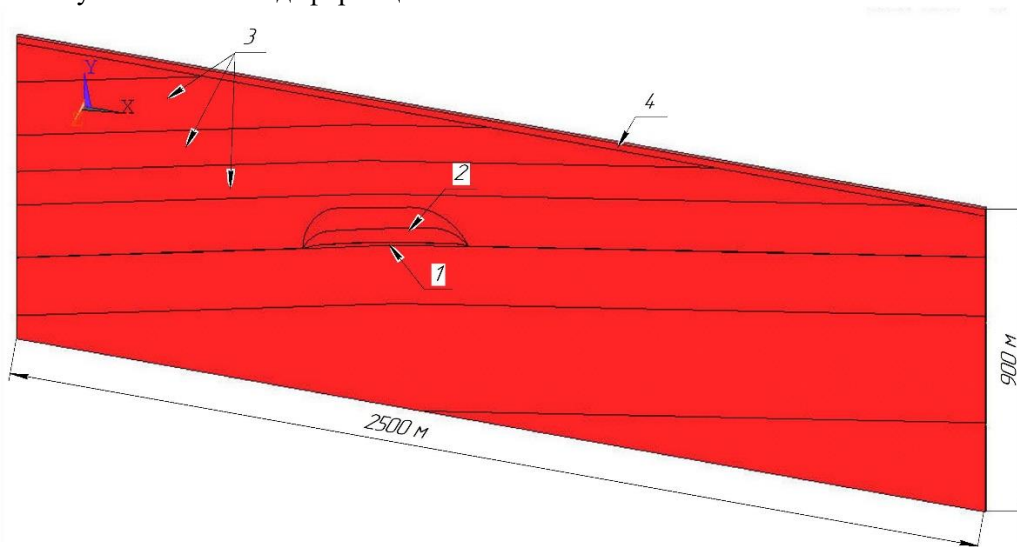


Рис. 2. Загальний вигляд кінцевоелементної моделі

Беручи до уваги, що моделюється повне затоплення, при якому відбувається максимальне водонасичення порід, а під час симуляції проведено узагальнення властивостей порід товщі, в зоні затоплення було прийнято зменшення модуля деформації в 1,5 рази, і збільшення коефіцієнта поперечної деформації на 20%.

Такі припущення цілком відповідають експериментальним дослідженням і є середнім показником для різних типів порід осадового походження, характерних для вуглепородної товщі Донбасу.

Властивості порід, що були використані під час моделювання наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Властивості порід в моделі

Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Модуль деформації, ГПа	Коефіцієнт Пуассона (коефіцієнт поперечної деформації)	Коефіцієнт зчеплення, МПа	Кут внутрішнього тертя, град	Кут ділатансії, град
Наноси					
2100	15-9	0,25	5,5-4,7	25	5
Породи поза зоною руйнування					
2500	20-9	0,17-0,25	6,4-5,35	32	32
Породи в зоні безладного руйнування (сухі)					
2500	0,6	0,25	-	-	-
Породи в зоні впорядкованого руйнування (сухі)					
2500	0,9	0,25	-	-	-
Породи в зоні безладного руйнування (затоплені)					
2500	0,4	0,30	-	-	-
Породи в зоні впорядкованого руйнування (затоплені)					
2500	0,6	0,30	-	-	-

### Результати дослідження і обговорення результатів.

Адекватність будь якої математичної моделі характеризується відхиленням результатів, отриманих під час її використання з реальними значеннями природи. Оскільки спостереження за зрушеннями поверхні в рамках цього дослідження не проводились, перевірка і калібрування базової моделі виконувались з прогнозними осіданнями, визначеними ДСТУ 101.00159226.001-2003 [1].

Була розрахована безпечна глибина  $H_b=440$ м. Встановлено, що гірничі роботи ведуться вище рівня безпечної глибини і можуть викликати деформації поверхні, що перевищують допустимі. У зону впливу потрапляють будинки та дорога, що видно з рис. 1.

Результати графічної побудови мульди зрушень з відповідними розрізами наведено на рис. 3.

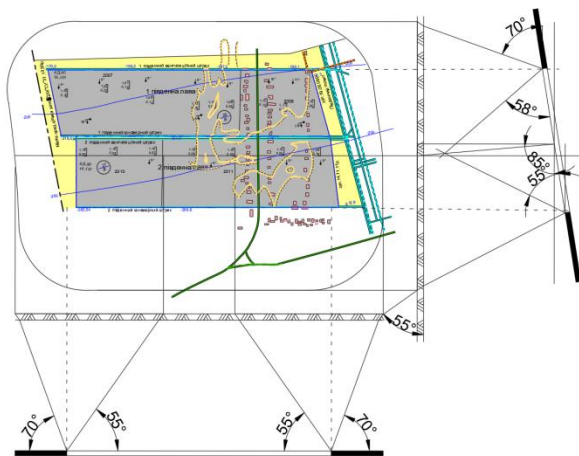


Рис. 3. Графічні побудови мульди зрушень, згідно з методикою [1]

Вихідні параметри процесу зрушення згідно з вимогами ДСТУ 101.00159226.001-2003 [1]: кордонні кути для території Донбасу  $\delta=70^\circ$ ,  $\gamma=70^\circ$ ,  $\beta=63^\circ$ ; кути повних зрушень  $\psi_1=55^\circ$ ,  $\psi_2=58^\circ$ ,  $\psi_3=55^\circ$ ; кут максимального осідання  $\theta=83^\circ$  коефіцієнти підробленості земної поверхні  $N_1=1$ ,  $N_2=0,84$ . Розрахована величина максимального осідання  $\eta_{max}=0,74$  м.

По граничних кутах, кутах повних зрушень або куту максимального осідання було визначено довжини напівмульд падіння, повстання і простягання пластів. Кожна напівмульда була поділена на 10 рівних частин. За допомогою максимального

осідання та значення функції  $S(z)$  розраховано величини осідань.

Ізолінії осідань земної поверхні в зоні підробки 1 і 2 південних лав південного похила пласта  $l_1$  м наведено на рис. 4.

Як видно з рис. 4 на поверхні у зоні зрушень розташовані траса Донецьк-Новгородівка, Донецьк-Селидове, село Михайлівка. Деякі будинки знаходяться над зоною максимальних осідань. Результати чисельного моделювання у вигляді картин розподілу вертикальних переміщень для базової моделі наведено на рис. 5.

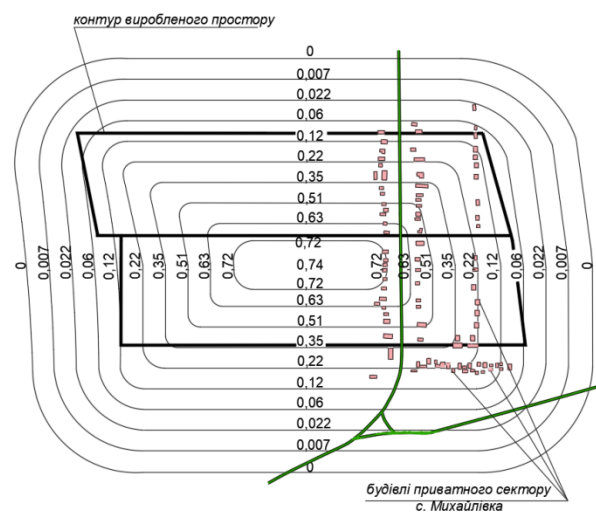


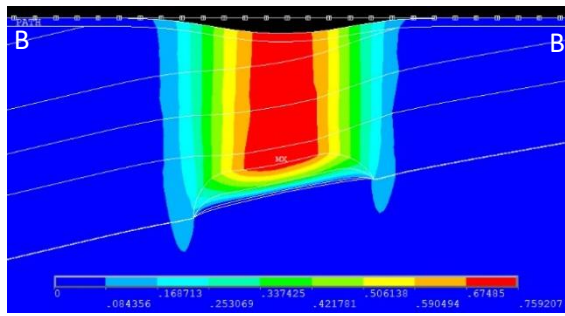
Рис. 4. Ізолінії осідань земної поверхні в плані

Шкала переводу кольорів в цифровий формат зображена в нижній частині рисунка. Цифрові позначення на шкалі наведені в метрах. Для більш чіткого відображення меж мульди зрушень масштаб осідань на рис. 5 збільшено в 50 разів.

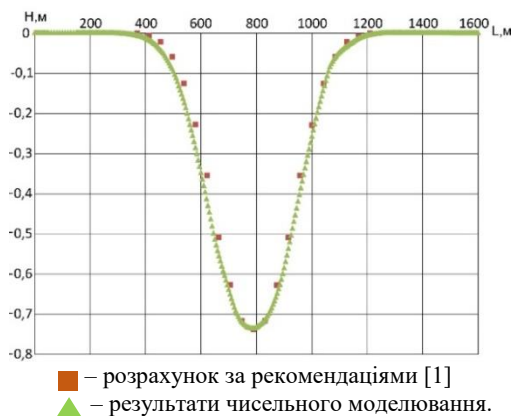
На першому етапі моделювання було проведено калібрування моделі. Для цього було побудовано графіки осідань поверхні по лінії В-В (рис. 5) і перевірено їх збіжність з результатами аналітичного розрахунку осідань за методикою ДСТУ 101.00159226.001-2003 [1].

Порівняння результатів розрахунку осідань за рекомендаціями [1] з результатом математичного моделювання наведено на рис. 6.

Як видно з рисунку 6 математична модель дозволяє достатньо якісно описувати процес зрушення поверхні.



В-В – моніторингова лінія

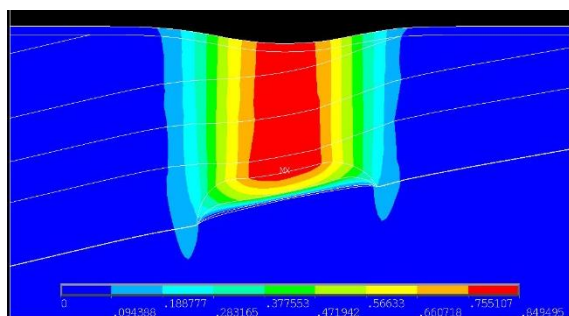
**Рис. 5.** Розподіл вертикальних переміщень в базовій моделі (масштаб опускань 50:1)

■ – розрахунок за рекомендаціями [1]  
▲ – результати чисельного моделювання.

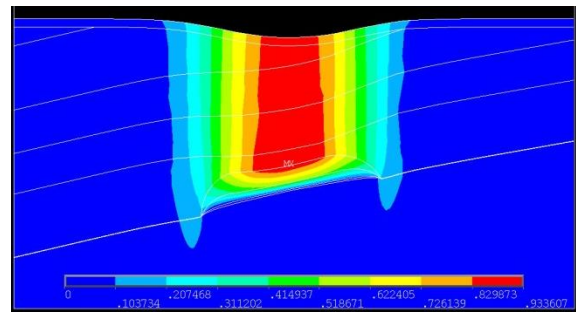
**Рис. 6.** Осідання земної поверхні над 1 і 2 південними лавами південного похила пласта  $l_1$  (по моніторинговій лінії В-В)

Максимальні осідання в моделі складають 735 мм, розраховані за [1] - 738 мм, в моделі зміщення на краю мульди рівні 7 мм на відстані 405 м від осі лави, за [1] - 380 м. Таким чином, відповідні відхилення становлять -0,2% і +4%. Такі результати є цілком задовільними для поставленої задачі.

На другому етапі моделювання імітувалось затоплення «знизу-вверх» в два етапи (40% і 100% від загальної висоти зони впорядкованого руйнування). Відповідні результати моделювання наведено на рис 7.



а



б

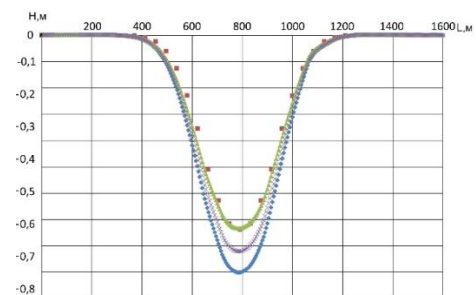
**Рис. 7.** Розподіл вертикальних переміщень при першому (а) і другому (б) кроках затоплення (масштаб опускань 50:1)

Для наочного уявлення представимо результати моделювання у вигляді графіків осідань (рис. 8).

З рисунка 8 видно, що після першого кроку затоплення, максимальні осідання поверхні збільшуються до 821 мм, тобто на 86 мм (11,7%), після другого кроку затоплення – до 900 мм, тобто на 165 мм (22,4%).

При цьому ширина мульди зрушень при затопленні зростає лише на 5 м (1,3%).

Оскільки з результатів моделювання витікає, що розміри мульди зростають на порядок менше ніж максимальні осідання, стає очевидним, що затоплення сприяє зростанню нахилів, кривизн і горизонтальних зсувів. Це викликає підвищення небезпек для об'єктів поверхні і потребує подальшого вивчення. Для умов, що розглядаються зростають небезпеки руйнування будинків села Михайлівка, що потрапляють в зону підробки і знаходяться в мульді зрушень. Окрім того зростає небезпека руйнування автошляху Донецьк – Селидове, що розташований в зоні підробки.



▲ – до затоплення  
× – при затопленні на висоту 40% зони впорядкованого руйнування  
◆ – при затопленні на повну висоту зони впорядкованого руйнування.

**Рис. 8.** Осідання земної поверхні в зоні підробки (по моніторинговій лінії В-В)

**Висновки.**

У даній роботі представлені результати досліджень впливу затоплення вироблених просторів вугільних шахт на активізацію процесів зрушень земної поверхні на прикладі шахти ім. Котляревського.

У ході виконаних досліджень виявлено низку особливостей та результатів:

1. Одним з характерних явищ з яким, незалежно від шляху розвитку вугільної галузі України, буде пов'язано майбутнє українського Донбасу є затоплення вироблених просторів вугільних шахт. Ризики затоплення шахт зростають внаслідок ведення військових дій. Через це однією з актуальних проблем все гостріше стає охорона поверхневих об'єктів від негативного впливу підробки. Своєчасне планування і розробка комплексу охоронних заходів потребує адекватного прогнозу зрушень при затопленні шахт.

2. Розроблена чисельна кінцевоелементна модель в кодi Ansys, що дозволяє прогнозувати зрушення земної поверхні в зоні підробки. Запропонована модель після проведення калібрування дозволяє розраховувати елементи мульди зрушень з точністю до 5%.

3. Встановлено, що затоплення вироблених просторів лав призводить до активізації процесу зрушень земної поверхні. В результаті аналізу доведено, що затоплення вироблених просторів на повну висоту зони впорядкованого руйнування над лавою призводять до зростання осідань на 22,4%, при цьому розміри мульди зростають на порядок менше – 1,3%. Це сприяє суттєвому зростанню небезпек для об'єктів поверхневої інфраструктури через збільшення нахилів і кривизн.

**Список літератури**

1. ДСТУ 101.00159226.001-2003 Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. Київ, 2004. 128 с.

2. Черникова С. А. Прогноз водоподъема в закрывающихся шахтах на основе материалов гидромониторинга восточного Донбасса. *Маркшейдерия и недропользование*. 2003. № 1. С. 27-29.

3. Э. Госк В.А. Сляднев, Н.А. Юркова, Е.А. Яковлев Предварительная оценка эколого-геологического риска затопления шахт Горловской горно-городской агломерации. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2004. №3.С. 60– 65.

4 Zhao H, Ma F, Zhang Y, Guo J. Monitoring and mechanisms of ground deformation and ground fissures induced by cut-and-fill mining in the Jinchuan Mine 2, China. *Environ Earth Sci*. 2013. 68(7). P.1903–1911.

5. Li X, Wang SJ, Liu TY, Ma FS. Engineering geology, ground surface movement and fissures induced by underground mining in the Jinchuan Nickel Mine. *Eng Geol*. 2004. 76(1–2). P.93–107.

6. Назаренко В.А., Стельмашук Е.В. Моделирование формирования мульды сдвижения земной поверхности над движущимся очистным забоем. *Проблеми гірського тиску*. 2009. Вип.17. С. 8

7 Miao X, Cui X, Wang J, Xu J. The height of fractured water-conducting zone in undermined rock strata. *Eng Geol*. 2011. 120(1–4). P.32–39.

8. Yanli H, Jixiong Z, Baifu A, Qiang Z. Overlying strata movement law in fully mechanized coal mining and backfilling longwall face by similar physical simulation. *J Min Sci*. 2011. 47(5). P.618–627.

9. Karmis, M., Agioutantis Z., and Andrews, K. Enhancing Mine Subsidence Prediction and Control Methodologies. In: *Proceedings, 27th International Conference on Ground Control in Mining*, Morgantown, West Virginia, July 29-31, 2008, P.131-136.

10. Agioutantis, Z., Newman, C., Bode Jimenez Leon, G., and Karmis, M. Minimizing impacts on streams due to underground mining by predicting surface ground movements. *Mining Engineering*, 2016. 68(3). P.28-37.

11. Agioutantis, Z. and Karmis, M. Recent Developments on Surface Ground Strain Calculations due to Underground Mining in Appalachia. In: *Proceedings, 32nd International Conference on Ground Control in Mining*, Morgantown, West Virginia, 30 July-1 August 2013, P. 214-219.

12. Jeromel G, Medved M, Likar J. An analysis of the geomechanical processes in coal mining using the velenje mining method. *Acta Geotech Slov*. 2010. 7(1). P.30–45.

13. Zhao K, Xu N, Mei G and Tian H. Predicting the distribution of ground fissures and water-conducted fissures induced by coal mining: a case study. *SpringerPlus*. 2016.5:977

14. Islam MR, Hayashi D, Kamruzzaman ABM. Finite element modeling of stress distributions and problems for multislice longwall mining in Bangladesh, with special reference to the Barapukuria Coal Mine. *Int J Coal Geol*. 2009. 78(2). P.91–109.

15. Сахно И.Г., Грищенко Н.Н., Голубев Ф.М. Математическое моделирование сдвижения горного массива над одиночной лавой. *Наукові праці УКРНДМІ НАН України*. 2013. Випуск 13. С. 209-219.

16. Грищенко Н.Н., Голубев Ф.М. Моделирование влияния затопления горного массива на процесс сдвижения земной поверхности. *Проблеми недропользования : сб. науч. тр.* 2014. С. 154-157.

17. Yoo C, Lee D. Deep excavation-induced ground surface movement characteristics—a numerical investigation. *Comput Geotech*. 2008. 35(2). P.231-252.

18. Мельников Н. В. Ржевский В.В., Протодяконов М.М. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. Москва:Недра, 1975. 279 с.

19. Sakhno I. G, Molodetskyi A. V. and Sakhno S. V. Identification of material parameters for numerical simulation of the behavior of rocks under true triaxial conditions. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2018. №5 .P.48-53.

20. Зоря Н.М., Музафаров Ф.И. Схема механизма сдвижений толщи пород при выемке пологих пластов угля одиночной лавы. *Уголь Украины*. 1966. №12. С. 5-7.

21. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. Москва: Недра, 1980. 360 с.

22. Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition. In: *Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium and the 17th Tunnelling Association of Canada Conference*, NARMS-TAC, Toronto, Canada, ed. Hammah et al., 2002. P.267-71.

23. Ревва В.Н., Молодецкий А.В., Завражин В.В., Василенко Н.И. Разрушение водонасыщенного угля при различных видах напряженного состояния. *Физико – технические проблемы горного производства*. 2007. № 10. С. 81 – 94.

24. Romana M., Vásárhelyi B. A Discussion on the Decrease of Unconfined Compressive Strength Between Saturated and Dry Rock Samples. *Proceedings of the International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering 11th ISRM Congress*; ISRM: Lisbon, Portugal, 9–13 July, 2007. ISRM-11CONGRESS-2007-031.

### References

1. DSTU 101.00159226.001-2003 (2004) Pravyła pidrobky budivel', sporud i pryrodnykh ob'ektiv pry vydobuvanni vuhillja pidzemnym sposobom. Kyjiv. (in Ukrainian)

2. Chernikova, S. (2003). Prognoz vodopod'ema v zakryvayuschihsha shahtah na osnove materialov gidromonitoringa vostochnogo Donbassa. *Marksheyderiya i nedropolzovanie*, № 1, 27-29. (in Russian)

3. Gosk, E. Slyadnev, V., Yurkova, N., Yakovlev, E. (2004). Predvaritel'naya otsenka ekologo-geologicheskogo riska zatopeniya shaht Gorlovskoy gorno-gorodskoy aglomeratsii. *Ekotehnologii i resursoberezhenie*, 3, 60– 65. (in Russian)

4 Zhao H, Ma F, Zhang Y, Guo J. (2013). Monitoring and mechanisms of ground deformation and ground fissures induced by cut-and-fill mining in the Jinchuan Mine 2, China. *Environ Earth Sci*, 68(7), 1903–1911.

5. Li X, Wang SJ, Liu TY, Ma FS. (2004). Engineering geology, ground surface movement and fissures induced by underground mining in the Jinchuan Nickel Mine. *Eng Geol*, 76(1–2), 93–107.

6. Nazarenko, V., Stelmaschuk, V. (2009). Modelirovanie formirovaniya muldyi sdvizeniya zemnoy poverhnosti nad dvizhushchimsya ochistnyim zaboem. *Problemi girskogo tisku*, 17, 8. (in Russian)

7 Miao, X., Cui, X., Wang, J., Xu, J. (2011). The height of fractured water-conducting zone in undermined rock strata. *Eng Geol*, 120(1–4), 32–39.

8. Yanli, H., Jixiong, Z., Baifu, A., Qiang, Z. (2011). Overlying strata movement law in fully mechanized coal mining and backfilling longwall face by similar physical simulation. *J Min Sci*, 47(5), 618–627.

9. Karmis, M., Agioutantis Z., and Andrews, K. (2008). Enhancing Mine Subsidence Prediction and Control Methodologies. In: *Proceedings, 27th International Conference on Ground Control in Mining*, Morgantown, West Virginia, July 29-31, 131-136.

10. Agioutantis, Z., Newman, C., Bode Jimenez Leon, G., and Karmis, M. (2016). Minimizing impacts on

streams due to underground mining by predicting surface ground movements. *Mining Engineering*, 68(3), 28-37.

11. Agioutantis, Z. and Karmis, M. (2013). Recent Developments on Surface Ground Strain Calculations due to Underground Mining in Appalachia. In: *Proceedings, 32nd International Conference on Ground Control in Mining*, Morgantown, West Virginia, 30 July-1 August, 214-219.

12. Jeromel, G., Medved, M., Likar, J. (2010). An analysis of the geomechanical processes in coal mining using the velenje mining method. *Acta Geotech Slov*, 7(1), 30–45.

13. Zhao, K., Xu, N., Mei, G. and Tian, H. (2016). Predicting the distribution of ground fissures and water-conducted fissures induced by coal mining: a case study. *SpringerPlus*, 5:977

14. Islam, MR., Hayashi, D., Kamruzzaman, ABM. (2009). Finite element modeling of stress distributions and problems for multislice longwall mining in Bangladesh, with special reference to the Barapukuria Coal Mine. *Int J Coal Geol*, 78(2), 91–109.

15. Sakhno, I., Grischenkov, N., Golubev, F. (2013). Matematicheskoe modelirovanie sdvizeniy gornogo massiva nad odinochnoy lavoy. *NaukovI pratsI UKRNDMI NAN Ukrayini*, 13, 209-219. (in Russian)

16. Grischenkov, N., Golubev, F. (2014). Modelirovanie vliyaniya zatopeniya gornogo massiva na protsess sdvizeniya zemnoy poverhnosti. *Problemyi nedropolzovaniya: sb. nauch. tr.*, 154-157. (in Russian)

17. Yoo, C., Lee, D. (2008). Deep excavation-induced ground surface movement characteristics—a numerical investigation. *Comput Geotech*, 35(2), 231–252.

18. Melnikov, N., Rzhveskiy, V., Protodyakonov, M. (1975). Spravochnik (kadastr) fizicheskikh svoystv gornah porod. Moskva:Nedra. (in Russian)

19. Sakhno, I., Molodetskiy, A. and Sakhno, S. (2018). Identification of material parameters for numerical simulation of the behavior of rocks under true triaxial conditions. *Naukovyi Visnyk NHU*, 5, 48-53.

20. Zorya, N., Muzafarov, F. (1966). Shema mehanizma sdvizeniy tolschi porod pri vyiemke pologih plastov uгля odinochnoy lavyi. *Ugol Ukrayini*, 2, 5-7. (in Russian)

21. Borisov, A. (1980). *Mehanika gorniyh porod i massivov*. Moskva: Nedra. (in Russian)

22. Hoek, E., Carranza-Torres, C., Corkum, B. (2002). Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition. In: *Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium and the 17th Tunnelling Association of Canada Conference*, NARMS-TAC, Toronto, Canada, ed. Hammah et al., 267-71.

23. Revva, V., Molodetskiy, A., Zavrzhin, V., Vasilenko, N. (2007). Razrushenie vodonasyishennogo uгля pri razlichnyih vidah napryazhennogo sostoyaniya. *Fiziko – tehnichekie problemyi gornogo proizvodstva*, 10, 81 – 94. (in Russian)

24. Romana, M., Vásárhelyi, B. (2007). A Discussion on the Decrease of Unconfined Compressive Strength Between Saturated and Dry Rock Samples. *Proceedings of the International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering 11th ISRM Congress*; ISRM: Lisbon, Portugal, 9–13 July. ISRM-11CONGRESS-2007-031.

Надійшла до редакції 12.10.2022

**Сахно Іван Георгійович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри розробки родовищ корисних копалин ДВНЗ «Донецький Національний технічний університет», (м. Луцьк, Україна).

E-mail: [ivan.sakhno@donntu.edu.ua](mailto:ivan.sakhno@donntu.edu.ua)

**Сахно Світлана Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри геотехнічної інженерії ДВНЗ «Донецький Національний технічний університет», (м. Луцьк, Україна).

E-mail: [svitlana.sakhno@donntu.edu.ua](mailto:svitlana.sakhno@donntu.edu.ua)

**Петренко Андрій Віталійович** – асистент кафедри розробки родовищ корисних копалин ДВНЗ «Донецький Національний технічний університет», (м. Луцьк, Україна).

E-mail: [andrii.petrenko@donntu.edu.ua](mailto:andrii.petrenko@donntu.edu.ua)

**Баркова Ольга Олександрівна** – асистент кафедри геотехнічної інженерії ДВНЗ «Донецький Національний технічний університет», (м. Луцьк, Україна)

E-mail: [olha.zemelko@donntu.edu.ua](mailto:olha.zemelko@donntu.edu.ua)

## THE INFLUENCE OF GROUND WATER LEVEL RISE IN GOB OF COAL MINES ON GROUND SURFACE DEFORMATION ON THE EXAMPLE OF THE KOTLYAREVSKY MINE

**Purpose.** *The study of the influence of mine water rising level of longwalls gob on the activation of deformation processes on the undermined earth's surface.*

**Methods.** *In the study was used the method of engineering and graphic analysis for calculating the parameters of the displacement trough according to the normative method. The finite element method that was implemented in the Ansys code was used to carry out studies of the influence of mine water rising level on the deformation of the earth's surface. The problem is solved in an elastic-plastic setting, taking into account the heterogeneity of rocks.*

**Findings.** *In accordance with the conditions of the southern part of the mine field, a landslide trough was drawn, and a plan of subsidence isolines was constructed with surface infrastructure objects. Surface objects, the risk of destruction of which increases when the mine water level rises, have been identified. The position of the cut line, which characterizes the most dangerous position, is determined. After the analysis and generalization of the results of the numerical experiment, it was established that the rise of mine water level in the gobs of 1th and 2th southern longwall of the coal seam 11 of Kotlyarevsky mine leads to the activation of landslides on the earth's surface. At the same time, the vertical subsidence in the displacement trough in the case of flooding (to the full height of the zone of ordered destruction) increases by 22.4%, and the width of the trough increases disproportionately - by 1.3%. This contributes to a significant increase in hazards for surface infrastructure objects due to the increase in slopes and curvatures.*

**Originality** *consists in establishing of the features of changes in surface displacement in the area of undermined earth's surface due to the rise of mine water level.*

**Practical implication.** *The results of the study can be used in the prediction of subsidence and other elements of landslides in the displacement trough, which are activated due to the rise of mine water level. At the same time, the possibility of timely planning and development of a set of measures to protect surface infrastructure objects from the negative impact of undermining is ensured.*

**Keywords:** *earth's surface displacement, surface undermine, landslides, displacement trough, rise of mine water level, surface displacement forecast.*

**Sakhno Ivan** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mining of mineral deposits, Donetsk National Technical University, (Lutsk, Ukraine).

E-mail: [ivan.sakhno@donntu.edu.ua](mailto:ivan.sakhno@donntu.edu.ua)

**Sakhno Svitlana** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Geotechnical Engineering, Donetsk National Technical University, (Lutsk, Ukraine).

E-mail: [svitlana.sakhno@donntu.edu.ua](mailto:svitlana.sakhno@donntu.edu.ua)

**Petrenko Andrii** – assistant of the Department of Mining of mineral deposits, Donetsk National Technical University, (Lutsk, Ukraine).

E-mail: [andrii.petrenko@donntu.edu.ua](mailto:andrii.petrenko@donntu.edu.ua)

**Barkova Olha** – assistant of the Department of Geotechnical Engineering, Donetsk National Technical University, (Lutsk, Ukraine).

E-mail: [olha.zemelko@donntu.edu.ua](mailto:olha.zemelko@donntu.edu.ua)