

© А.М. Феофанов¹

¹Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка Національної академії наук України, Київ, Україна

КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ДЕФОРМАЦІЙ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ НАД ПОКИНУТИМИ ОЧИСНИМИ ВИРОБКАМИ

A. Feofanov¹ <https://orcid.org/0000-0003-1455-0938>

¹N. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF EARTH SURFACE DEFORMATIONS OVER ABANDONED MINE WORKINGS

Мета. Метою роботи являється аналіз та встановлення залежностей максимальних деформацій (горизонтальних деформацій, нахилів та кривизни) земної поверхні при можливій активізації породного масиву над покинутими (старими) очисними виробками, що збереглися на малих глибинах, або вибули з експлуатації при ліквідації шахти та приурочених до виходів вугільних пластів під наноси.

Методика. В роботі використано результати інструментальних спостережень за кілька десятків років, що були отримані на спостережних станціях. Станції було закладено над очисними виробками в різних вугледобувних районах Донбасу. Для аналізу були відібрані спостережні станції, на яких отримано характеристики процесу зсуву при проведенні гірничих робіт на малих глибинах, що не перевищують 225 м. Використано результати спостережень, що отримані УкрНДМІ, Донецьким національним технічним університетом та Національним гірничим університетом. Для встановлення кількісних та якісних закономірностей весь експериментальний матеріал було поділено на 3 групи за ступенем метаморфізму порід.

Результати. За результатами досліджень отримано залежності для встановлення максимальних деформацій (нахилів, кривизни і горизонтальних деформацій) земної поверхні в зоні впливу покинутих очисних виробок в залежності від ступеня метаморфізму підробленого вуглепородного масиву.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає у створенні принципово нового підходу в оцінці ступеня небезпеки для земної поверхні покинутих очисних виробок, який полягає у встановленні залежностей, що дозволяють оцінити кількісно величини деформацій в зоні пошкодження земної поверхні при можливій активізації процесу зрушення над покинутими очисними виробками.

Практичне значення. Можливе застосування результатів проведених досліджень і встановлених закономірностей для оцінки ступеня небезпеки покинутих на малих глибинах очисних виробок для земної поверхні і поверхневих об'єктів в зоні їх впливу, а також вибору відповідних мір захисту таких об'єктів.

Ключові слова: покинуті гірничі виробки, очисні роботи на малих глибинах, локальні осідання, ступінь метаморфізму, горизонтальні деформації, нахили, кривизна.

Вступ. Неодноразово зазначалося [1–3], що вугільні шахти, що вибули з експлуатації, залишають після себе розгалужену мережу занедбаних гірських

виробок, які повністю або частково зберігають свої початкові розміри. Особливо це притаманно виробкам старих шахт, які видобували свого часу вугілля на виходах пластів під наноси. Малі глибини відпрацювання і, відповідно, невеликий гірничий тиск, а також повсюдне використання стрічкових ціликів для підтримки та охорони таких виробок сприяли повному або частковому збереженню виробок та порожнеч у них. З часом під впливом низки чинників (осушення чи затоплення, руйнування кріплення, підріток нижчими пластами та ін.) породи покрівлі обрушуються, заповнюючи собою вироблений простір. Процес активізації вищележачої товщі через малу глибину, що почався таким чином, в кінцевому підсумку може привести як до деформування самої земної поверхні, так і розташованих на ній будівель і споруд.

Небезпека покинутих гірничих виробок, що збереглися на малих глибинах, характерна для вугледобувних районів будь-якої країни [4–9]. Відомо, що природа не терпить пустоти. А оскільки процес обвалення (заповнення) вищележачими породами виробок (порожнеч), що збереглися, розтягнутий у часі, то навіть після ліквідації останньої шахти така небезпека буде зберігатися для підроблених ділянок земної поверхні десятки, а то й сотню років.

Багаторічні дослідження показують, що для занедбаних протяжних і вертикальних розкривних виробок характерно утворення на земній поверхні провалів різних форм и розмірів. Провалам, як найнебезпечнішим видам ушкоджень, приділяється пильна увага, тому що поверхневий об'єкт, що потрапляє в зону їх впливу повністю руйнується і не підлягає відновленню з можливістю подальшої експлуатації.

Над занедбаними на малих глибинах очисними виробками залежно від їх розмірів можуть утворитися як провали, так і зони підвищених деформацій, які незаслужено залишаються поза увагою. Не варто забувати, що в зону впливу очисних виробок потрапляють набагато більші ділянки земної поверхні, ніж від інших виробок. В залежності від отриманих деформацій поверхневі об'єкти можуть або отримати пошкодження, не критичні для їхньої подальшої експлуатації або повністю зруйнуватися.

Види, форми та розміри ушкоджень земної поверхні при активізації вуглепородного масиву над старими очисними виробками детально розглянуті в [2, 3]. У статті [10] представлені результати досліджень параметрів процесу зсуву породної товщі при активізації покинутих на малих глибинах очисних виробок старих шахт, що дозволяють оцінити зону їх впливу на земній поверхні залежно від ступеня метаморфізму порід, що вміщують.

У запропонованій статті розглядаються питання кількісної оцінки деформацій земної поверхні, підробленої покинутими (старими) очисними виробками, що збереглися на малих глибинах у приповерхневій зоні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Для визначення ступеня небезпеки ділянок земної поверхні, підроблених старими гірничими виробками на малих глибинах, та вибору відповідних заходів захисту поверхневих об'єктів необхідно знати абсолютні максимальні значення горизонтальних деформацій у мульді пошкодження. Так як розміри му-

льд для дрібних лав невеликі, і в багатьох випадках неможливо надійно встановити розміри самої очисної виробки, то немає необхідності розраховувати деформації у всіх точках, а достатньо отримати максимальні значення зсувів та деформацій.

При відпрацюванні одиночного пласта, незалежно від глибини розробки, максимальні деформації земної поверхні пропонується оцінювати за формулами з [11, 12]:

$$i_{\max} = c_i \frac{m}{H} = \left(1,6 - \frac{\alpha}{\rho}\right) \frac{m}{H}; \quad (1)$$

$$\varepsilon_{\max} = c_\varepsilon \frac{m}{H} = \left(0,6 + 0,9 \frac{\alpha}{\rho}\right) \cos \alpha \frac{m}{H}; \quad (2)$$

$$k_{\max} = c_k \frac{m}{H^2}, \quad (3)$$

де: $i_{\max}, \varepsilon_{\max}, k_{\max}$ – відповідно максимальні нахил (мм/м), горизонтальні деформації (мм/м) та кривизна (1/м); m, H – відповідно потужність та глибина розробки пласта, м; α – кут падіння пласта у градусах; c_i, c_ε, c_k – коефіцієнти, які визначаються за даними натурних спостережень.

З наведених формул випливає, що максимальні нахили зменшуються, а максимальні горизонтальні деформації збільшуються зі зростанням кута падіння пластів. Чіткої залежності для коефіцієнта c_k не встановлено, хоча зазначається, що зі збільшенням глибини його значення зростає, зі збільшенням кута падіння зменшується, а значення даного коефіцієнта знаходяться в діапазоні від 3 до 5 [11].

Проведене порівняння вимірних максимальних осідань і деформацій над лавами, розташованими на глибинах до 80 м, з очікуваними, розрахованими за методикою «Правил підробітку...» [13], показує значне перевищення очікуваних деформацій над вимірними: по осіданням в середньому в 3 рази, по нахилам в 1,9, по горизонтальним деформаціям в 2,7, по кривизні в 1,4 рази [14, 15]. Таким чином, існуючі розрахункові методи «Правил підробітку...» не застосовні для прогнозу деформацій земної поверхні над очисними виробками занедбаних шахт.

Свого часу Медянцев С. А. в результаті статистичної обробки значень максимальних деформацій, вимірних на 13 спостережних станціях, отримав формули для розрахунку очікуваних максимальних деформацій: нахилів i_m , горизонтальних деформацій ε_m , і радіуса кривизни R_{\min} :

$$i_m = 0,8 m / H \quad \varepsilon_m = 0,4 m / H \quad R_{\min} = 1,4 H^2 / m, \quad (4)$$

де: m – вийнята потужність вугільного пласта, м; H – глибина залягання очисної виробки, м.

Якщо бурінням встановлено висоти порожнеч h , то для визначення очікуваних максимальних деформацій поверхні у формулах (4) пропонується замість m використовувати середнє значення h .

Проте запропоновані залежності не можуть гарантувати точного результату через малу кількість експериментальних даних, використаних для їх отримання. Не зрозуміло, як змінюються максимальні величини деформацій з глибиною й у районів із різним ступенем метаморфізму.

На жаль жоден нормативний документ, який регламентує нині видобуток вугілля і охорону споруд на підроблених територіях, не дає чіткої відповіді питанням як же кількісно оцінювати деформаційні впливи покинутих (старих) очисних виробок (лави, камери, заходки, тощо) на земну поверхню у разі їхньої активізації.

Мета досліджень. В умовах малих глибин розробки більш яскраво виражена диференціація властивостей порід, і суттєве значення має потужність наносів, яка може дорівнювати або бути більше глибини робіт в товщі карбону. Тому метою цих досліджень з'явилися аналіз і встановлення залежності максимальних деформацій при активізації старих очисних виробок, розташованих на малих глибинах з урахуванням ступеня метаморфізму порід приповерхневої зони, що вміщують

Виклад основного матеріалу. Загальна характеристика експериментальних даних. Для аналізу були відібрані спостережні станції, на яких отримано характеристики процесу зсуву при проведенні гірничих робіт на малих глибинах, що не перевищують 225 м. Використано результати спостережень у різних районах Донбасу, що отримані УкрНДМІ, Донецьким національним технічним університетом та Національним гірничим університетом. Для встановлення кількісних та якісних закономірностей весь експериментальний матеріал був поділений на 3 групи за ступенем метаморфізму порід. Загальна характеристика спостережних станцій, які використані при дослідженні, наведена у таблиці 1.

Таблиця 1

Загальна характеристика спостережних станцій для аналізу максимальних зрушень та деформацій при малих глибинах розробки

| Параметр | Ступінь метаморфізму | | |
|------------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| | Висока (Т, ПА, А) | Середня (К, Ж, ОС) | Низька (Д, Г) |
| Число профільних ліній | 20 | 19 | 23 |
| Глибини, м | $\frac{14-80}{87}$ | $\frac{35-214}{110}$ | $\frac{58-225}{118}$ |
| Кути падіння, град. | 2–44 | 2–50 | 2–15 |
| Потужність, що виймається, м | 0,56–1,23 | 0,45–1,40 | 0,73–1,60 |
| Відношення довжини лави до глибини | 0,6–3,9 | 0,6–2,3 | 0,7–3,5 |

Аналіз таблиці показує, що мінімальні глибини розробки збільшуються зі зменшенням ступеня метаморфізму. Це пов'язано із збільшенням потужності наносів у районах залягання марок вугілля Д і Г. У цих районах залягають переважно пологі пласти. Тому діапазон кутів падіння пластів для цієї вибірки вужче, ніж в інших районах.

Відомо, що горизонтальні зрушення та деформації істотно залежать від потужності наносів [16]. У всіх районах Донбасу, за винятком Західного та Південного, потужність наносів невелика і змінюється в межах 0–30 м. Враховуючи цю обставину, з аналізу горизонтальних деформацій було виключено спостережні станції у Західному Донбасі, де потужність наносів сягає 100 м.

Слід зазначити, що відібрані для аналізу лави здебільшого мали досить великі розміри: відношення довжини виробки до середньої глибини у всіх групах перевищувало 0,5. Це сприяло повній реалізації процесу зрушення над ними. Ділянки з частковим чи повним зависанням знайти не вдалося.

Переважна більшість профільних ліній, які використовувалися для аналізу, розташовані хрест простягання пластів. Тому представилася можливість аналізу як позитивних (у напівмульдї по падінню) так і негативних нахилів (у напівмульдї по повстанню), кривизни опуклості та увігнутості, горизонтальних деформацій стисків та розтягувань.

Аналіз вертикальних деформацій. Аналіз вертикальних деформацій (нахилів та кривизни) відносно більш простий, ніж горизонтальних деформацій. Приймаючи за основу структуру формули (1), коефіцієнт максимальних нахилів C_i розраховувався по формулі

$$C_i = |i_{\max-\phi}| / \left(\frac{m}{H} \right), \quad (5)$$

де: $i_{\max-\phi}$ – максимальне значення нахилу, визначене за результатами спостережень.

Отримані величини були згруповані за ступенем метаморфізму порід. Для кожної групи було проаналізовано залежності коефіцієнтів C_i від кута падіння порід окремо для максимальних позитивних та негативних нахилів. Аналіз показав, що немає істотних відмінностей для коефіцієнтів, обчислених за максимальним позитивним та негативним нахилами у межах груп. Тому використовувалися залежності, отримані для загальної сукупності.

Графіки зміни коефіцієнтів максимальних нахилів показані на рис. 1. У таблиці 2 наведено отримані рівняння кореляційного зв'язку, число експериментальних точок та значення коефіцієнтів кореляції r , середні квадратичні відхилення фактичних значень від отриманого рівняння. Вказані рівняння графічно відображені на рис. 1. Тут же показані довірчі інтервали (штрихові лінії), шириною, що дорівнює середньому квадратичному відхиленню.

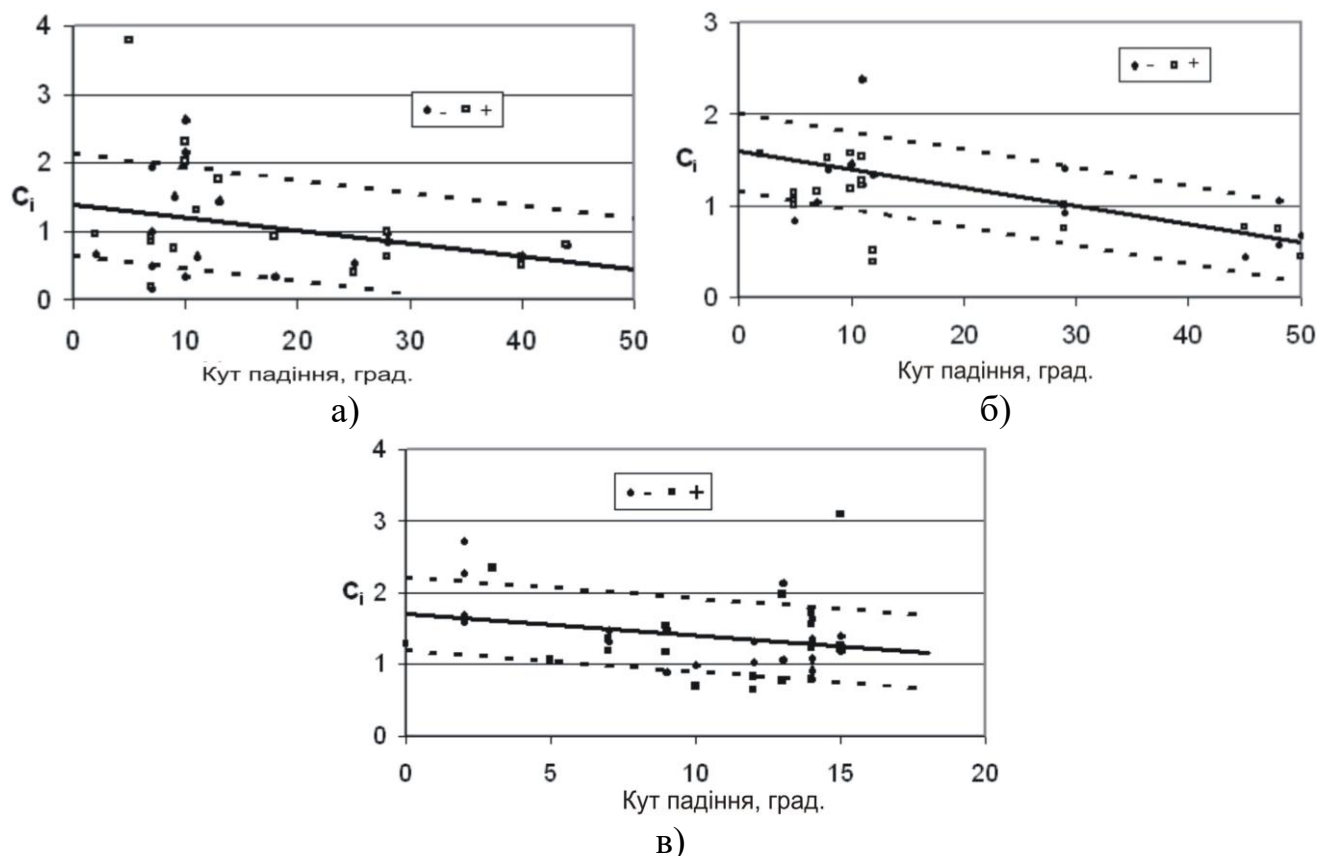


Рис. 1. Графіки коефіцієнтів максимальних нахилів:
 а – високий ступінь метаморфізму (марки вугілля Т, А); б – середній ступінь метаморфізму (марки вугілля Ж, К, ОС); в – низький ступінь метаморфізму (марки вугілля Д, Г).

Таблиця 2

Результати аналізу коефіцієнтів максимальних деформацій

| Марка вугілля | Рівняння залежності | Кількість значень | Коефіцієнт кореляції | Середнє квадратичне відхилення |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------|--------------------------------|
| Нахили | | | | |
| А, Т | $1,39 - 1,08 \alpha/\rho$ | 36 | 0,32 | 0,74 |
| К, Ж, ОС | $1,59 - 1,14 \alpha/\rho$ | 33 | 0,53 | 0,42 |
| Д, Г | $1,70 - 1,69 \alpha/\rho$ | 41 | 0,32 | 0,51 |
| Кривизна | | | | |
| А, Т | $7,05 - 3,87 \alpha/\rho$ | 35 | 0,14 | 6,5 |
| К, Ж, ОС | $8,41 - 6,66 \alpha/\rho$ | 24 | 0,51 | 3,6 |
| Д, Г | $12,13 - 30,38 \alpha/\rho$ | 38 | 0,60 | 7,8 |
| Горизонтальні деформації | | | | |
| А, Т | $0,17 + 0,70 \alpha/\rho$ | 22 | 0,58 | 0,22 |
| К, Ж, ОС | $0,48 + 0,22 \alpha/\rho$ | 19 | 0,34 | 0,21 |
| Д, Г | $0,77 - 0,29 \alpha/\rho$ | 26 | 0,06 | 0,56 |

Оцінка отриманих коефіцієнтів кореляції з використанням критерію Стьюдента свідчить про їхню значимість. Зіставлення рівнянь для груп метаморфізму дозволяє виділити такі закономірності: 1) зі збільшенням ступеня метаморфізму порід максимальні нахили зменшуються; 2) збільшення кутів падіння порід викликає зменшення максимальних нахилів у всіх групах.

Для обчислення коефіцієнтів максимальної кривизни використано формулу:

$$C_k = k_{\max} / \left(\frac{m}{H^2} \right). \quad (6)$$

Графіки залежності C_k від кута падіння порід різних груп метаморфізму наведені на рис. 2, а числові характеристики виконаного аналізу в таблиці 2. Загальні закономірності зміни коефіцієнтів максимальної кривизни схожі з тенденцією зміни коефіцієнтів максимальних нахилів.

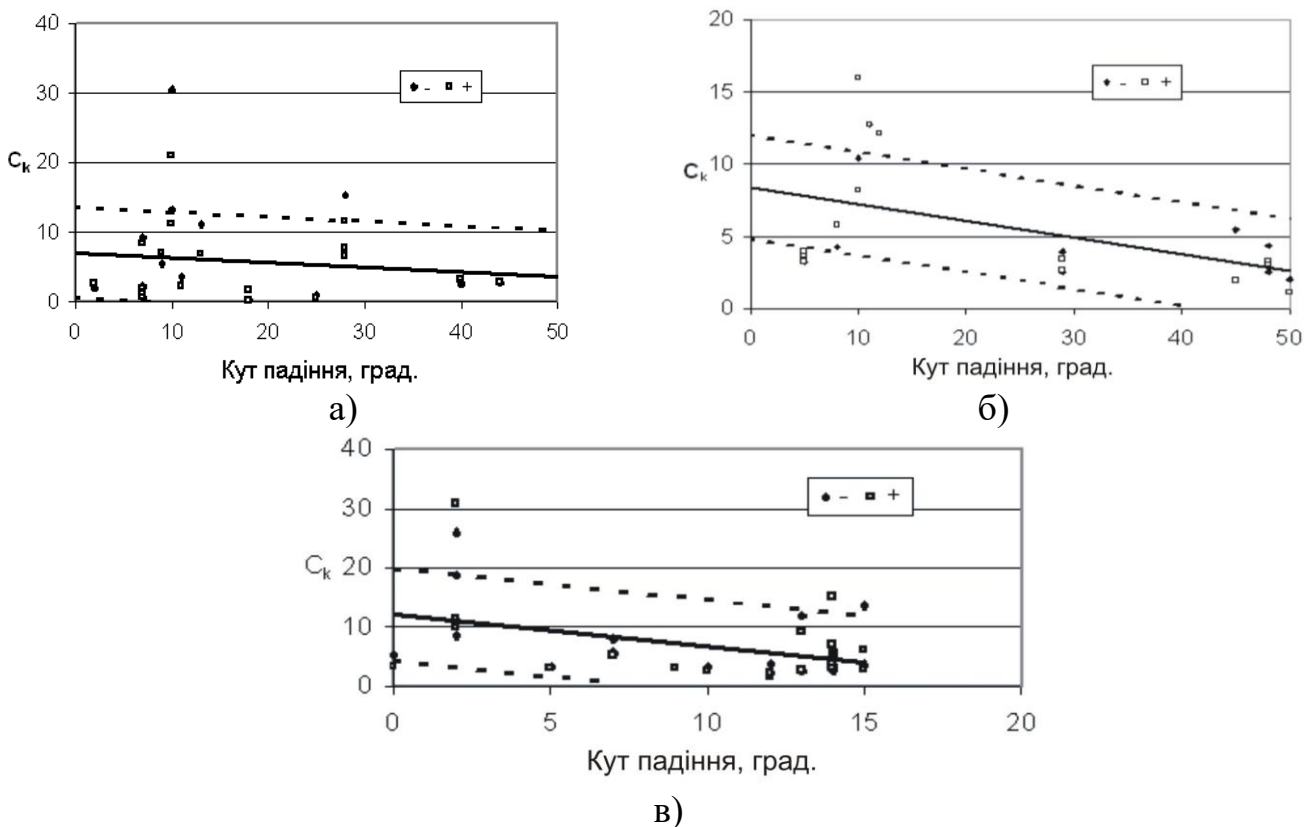


Рис. 2. Графіки коефіцієнтів максимальної кривизни: а – висока ступінь метаморфізму (марки вугілля Т, А); б – середня ступінь метаморфізму (марки вугілля Ж, К, ОС); в – низька ступінь метаморфізму (марки вугілля Д, Г).

Їхня залежність від кута падіння може бути описана лінійною функцією (див. табл. 2). Коефіцієнти цих рівнянь, які залежать і не залежать від кута падіння, збільшуються зі зменшенням ступеня метаморфізму порід.

Враховуючи, що при виборі мір заходів в основному використовується величина радіуса кривизни, яка обернено пропорційна кривизні, то можна записати вираз для обчислення мінімального радіуса кривизни

$$R_{\min} = \frac{1}{C_k} \frac{H^2}{m}. \quad (7)$$

Використовуючи отримані коефіцієнти C_k , можна констатувати, що мінімальні радіуси кривизни характерні для умов районів зі слабким метаморфізмом порід.

Аналіз горизонтальних деформацій. Коефіцієнти максимальних горизонтальних деформацій обчислювалися за формулою

$$C_\varepsilon = \left| \varepsilon_{\max-\phi} \right| / \left(\frac{m}{H} \right), \quad (8)$$

де: $\varepsilon_{\max-\phi}$ – фактичні максимальні горизонтальні деформації.

Графіки залежності C_ε від кута падіння пласта показані на рис. 3, а числові характеристики зазначених вибірок у таблиці 2.

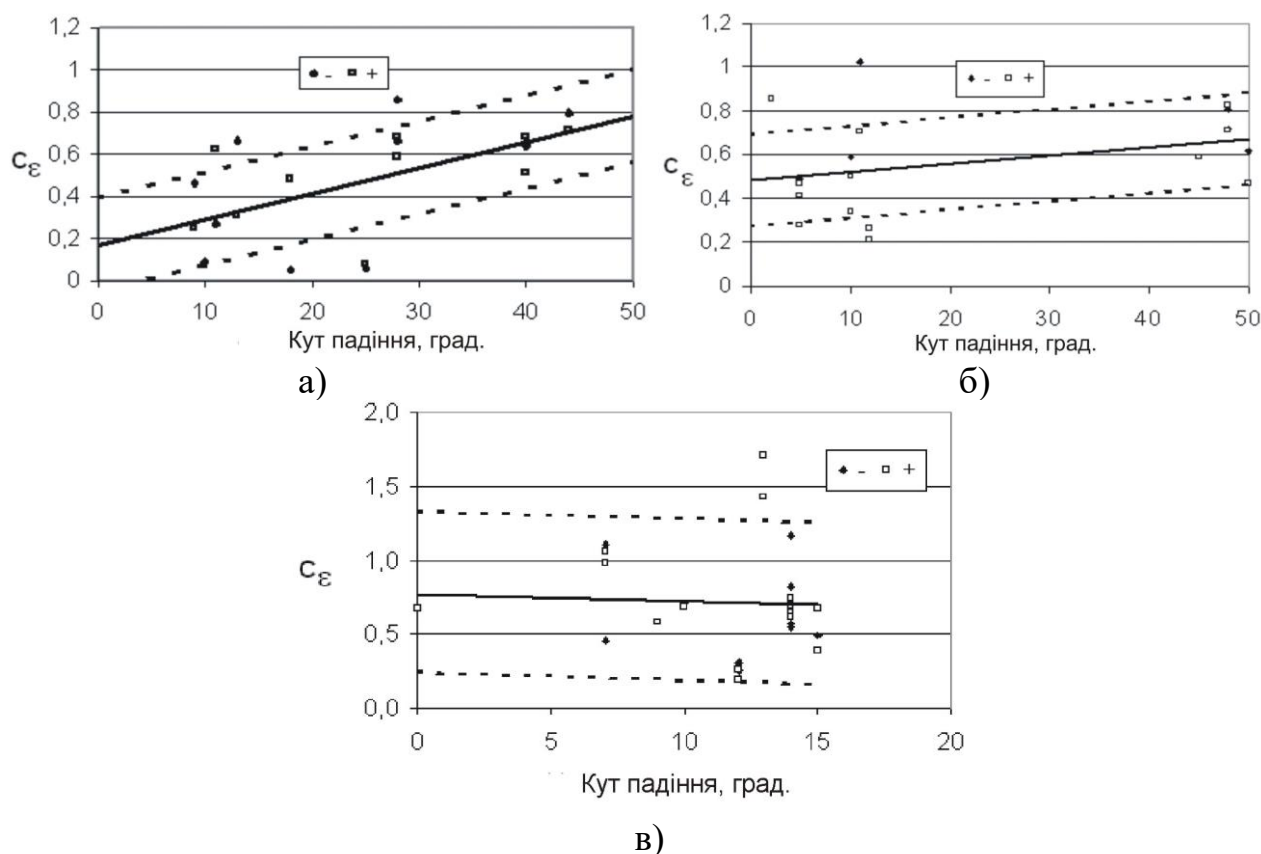


Рис. 3. Графіки коефіцієнтів максимальних горизонтальних деформацій: а – висока ступінь метаморфізму (марки вугілля Т, А); б – середня ступінь метаморфізму (марки вугілля Ж, К, ОС); в – низький ступінь метаморфізму (марки вугілля Д, Г)

Слід зазначити, що значних відмінностей у коефіцієнтах, обчислених по максимальним розтягуванням і максимальним стисканням, не виявлено. Тому подальший аналіз виконувався для загальної сукупності.

Аналіз графіків показує, що коефіцієнти максимальних горизонтальних деформацій також лінійно залежать від кута падіння пластів. Причому тут також досить чітко виділяється тенденція зміни даного параметра від ступеня метаморфізму гірських порід. При пологому заляганні порід найбільші горизонтальні деформації спостерігаються при слабкому метаморфізмі, а зі збільшенням ступеня метаморфізму відбувається зниження деформацій. Другі члени коефіцієнтів горизонтальних деформацій, які залежать від кута падіння пластів, закономірно зменшуються зі зменшенням метаморфізму порід. Це явище може бути пов'язано з впливом наносів, потужність яких зростає по міру зменшенням метаморфізму.

Таким чином, на відміну від формули (2), максимальні горизонтальні деформації для глибин до 200 метрів можна оцінювати за формулою

$$|\varepsilon| = C_{\varepsilon} \frac{m}{H}. \quad (9)$$

Обговорення результатів та висновки. Результати виконаного аналізу свідчать про те, що зі збільшенням міцності порід (ступеня метаморфізму) максимальні величини всіх видів деформацій при малих глибинах розробки зменшуються. Це можна пояснити тим, що в масивах міцних порід величини зависань і розшарування більше. Зі зменшенням ступеня метаморфізму порід зменшуються жорсткість шарів, вони сильніше згинаються, компактніше вписуються у вироблений простір.

Так як породи більш високого ступеня метаморфізації (марки А, Т) мають більшу міцність у порівнянні з низькометаморфізованими породами (марки Д, Г), то в такій зоні їх розуцільнення відбувається на шматки та блоки великих розмірів. Із зменшенням ступеня метаморфізму порід зменшуються розміри шматків та блоків, збільшується ступінь їх подрібнення. Таким чином, у разі обвалення порід у районах залягання вугілля марок Д, Г відбувається їх повніше ущільнення зі збільшенням осідань земної поверхні. Навпаки, крупноблочне обвалення порід у районах залягання вугілля марок А, Т призводить до неповного заповнення наявних пустот, утворенню нових незаповнених порожнин і, як наслідок, меншим осіданням. Відповідно у районах залягання вугілля марок А, Т деформації земної поверхні менше, ніж у районах вугілля Д, Г.

Отримані залежності дозволяють диференційовано підходити до розрахунку максимальних деформацій з урахуванням метаморфізму досліджуваної ділянки. Однак вони отримані для очисних виробок з великими коефіцієнтами підробленості. Зберігання пустот і послідуєча небезпека їх активізації при таких розмірах неможливі. Тому при практичному використанні розрахунки за даними формулами володітимуть певним запасом, що виключає необхідність запровадження коефіцієнтів перевантаження.

Встановлені залежності можуть бути використані при оцінці можливостей забудови територій, де є старі очисні роботи на малих глибинах, при грошовій

оцінці нерухомості та для визначення рівнів затоплення при закритті вугільних шахт.

Перелік посилань

1. Феофанов, А.М. (2003). *Обґрунтування параметрів урахування старих гірничих виробок на малій глибині для охорони поверхневих об'єктів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.15.01 «Маркшейдерія»*, Донецьк.
2. Feofanov, A. (2021). Geocological Aspects of Coal Mining in Donets Basin. *Natural Systems and Resources*, 4, 5–14. <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2021.4.1>
3. Феофанов, А.М., & Стрельник, Ю.В. (2023). Покинуті гірничі виробки як геоекологічний фактор вуглепородного видобутку в Донбасі. *Наукові праці ДонНТУ, Серія гірничо-геологічна, 1(29)*, 39–48. <https://mining-geology.donntu.edu.ua/arkhiv-zbirky/no-129-2023/pokynuti>
4. Mansur, C., Skouby, M. (1970). Mine grouting to control building settlement. *Proc. Am. Soc. Civil Engs., Soil Mech. Div.*, (96), 7166.
5. Legget, R., (1976). *Goroda i geologiya: Per. s angl.* «Mir».
6. Khudek, M., Olashovskiy, V. (1976). Raschet vida i velichiny razryvnykh deformatsiy poverkhnosti. *Doklad na seminarie «Otsenka prigodnosti primenyayemykh koeffitsiyentov deformatsiy poverkhnosti v gornopromyshlennykh rayonakh» Shverklanets.* 149–153.
7. Thorburn, S., & Reid, W. (1978). Incipient failure and demolition of two storey drillings due to large ground movements. *Large Ground Mov. and struct. Proc. Conf. Cardiff, London-Plymouth*, 87–99.
8. Ivey, J. (1978). Guidelines for engineering geologic investigation in areas of coal mine subsidence a response to land-use planning needs. *Bulletin of the Assc. of Eng. Geolog.*, 15(2), 163–174.
9. Marynczuk, L, & Klosinski, J. (1980). Likvidagja porudnych iryrolisk pod centrum miasta Bytomia. *Wiad gorn.*, (10), 250–264.
10. Феофанов, А.М. (2024). Параметри процесу зрушення над покинутими очисними виробками. *Наукові праці ДонНТУ, Серія гірничо-геологічна, 1, 2 (31, 32)*, 85–97.
11. Havrylenko, YU.N., Ermakov, V.N., & Feofanov, A.N. (2002). Prochnost' hornyh porod v zone vyvetryvaniya karbona. *Naukovi pratsi Donets'koho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu, Seriya hirnycho-heolohichna, Donets'k, DonNTU*, 45, 152–155.
12. Medyantsev, A.N. (1963). Maksimal'nyye deformatsii zemnoy poverkhnosti. *Trudy po voprosam gornogo davleniya, sdvizheniya gornykh porod i metodiki marksheyderskikh robot: Sb. nauch. tr., VNIMI*, 50, 190–193.
13. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом (2004). *ГСТУ 101.00159226.001–2003.* (Нормативний документ Мінтопэнерго України), 128.
14. Medyantsev, S.A. (1983). Sdvizheniye zemnoy poverkhnosti nad vyrabotkami starykh shakht v Donbasse. *Ugol' Ukrainy*, 7, 20–22.
15. Medyantsev, S.A. (1993). Prognoz sdvizheniya gornykh porod nad vyrabotkami. *Ugol' Ukrainy*, 12, 25–26.
16. Kolbenkov, S.P., & Pavlov, A.N. (1963). K voprosu raschetov deformatsiy zemnoy poverkhnosti. *Trudy po voprosam gornogo davleniya, sdvizheniya gornykh porod i metodiki marksheyderskikh robot: Sb. nauch. tr. VNIMI*, (50), 114–136.

ABSTRACT

Purpose. The purpose of this work is to analyse and establish the dependencies of maximum deformations (horizontal deformations, inclinations and curvatures) of the earth's surface in the event of possible activation of the rock mass above abandoned (old) mining workings that have been preserved at shallow depths or have been decommissioned during the liquidation of the mine and are associated with coal seam outcrops under deposits.

Methodology. The work used the results of instrumental observations over several decades, which were obtained at observation stations. The stations were installed above treatment works in various coal-mining areas of Donbas. For analysis, observation stations were selected, at which the characteristics of the displacement process were obtained during mining operations at shallow depths not exceeding 225 m. The results of observations obtained by UkrNDMI, Donetsk National Technical University and National Mining University were used. To establish quantitative and qualitative patterns, all experimental material will be divided into 3 groups according to the degree of metamorphism of rocks.

Results. Based on the research results, dependencies were obtained for determining the maximum deformations (inclinations, curvatures, and horizontal deformations) of the earth's surface in the zone of influence of abandoned mining workings depending on the degree of metamorphism of the undermined coal massif.

Scientific novelty. The scientific novelty consists in creating a fundamentally new approach to assessing the degree of danger to the earth's surface of abandoned treatment works, which consists in establishing dependencies that allow quantitatively assessing the magnitude of deformations in the area of damage to the earth's surface with a possible activation of the displacement process above the abandoned treatment works.

Practical significance. It is possible to apply the results of the conducted research and the established patterns to assess the degree of danger of abandoned shallow treatment works for the earth's surface and surface objects in the zone of their influence, as well as to select appropriate measures to protect such objects.

Keywords: *abandoned mine operations, shallow mining operations, local subsidence, degree of metamorphism, horizontal deformations, slopes, curvature.*

| | |
|---|------------|
| дата першого надходження статті до видання | 04.10.2025 |
| дата прийняття до друку статті після рецензування | 07.11.2025 |
| дата публікації (оприлюднення) | 29.12.2025 |