
ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ

УДК 502: 504

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.10>

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗСУВУ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ Й ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ЗАКРИТТЯ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Блінова Н.К., Філатьєва Е.М., Скарга В.В.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
пр. Центральний, 59-А, 93400, м. Сєвєродонецьк, Луганська область
blinovan.k@ukr.net, elafilatyeva@gmail.com, skargaviktoria@gmail.com.

Розглянуті негативні екологічні наслідки на довкілля під час експлуатації вугільних шахт та в разі їх ліквідації. У результаті діяльності шахт відбувається зміна рельєфу земної поверхні під впливом її підробки очисними виробками, а також зміна водного балансу між поверхневими та підземними водами. Тривала експлуатація шахт на Донбасі спочатку призвела до утворення квазістаціонарної екосистеми «шахтні води – мінеральний скелет». Це призвело до зміни природної конфігурації та спрямованості потоків підземних вод, техногенного посилення активності взаємозв'язку з поверхневими водами та зміни структур джерел формування їхніх ресурсів. Закриття шахт пов'язане з відновленням природних рівнів підземних вод, що були здреновані під час експлуатації. До основних негативних екологічних наслідків закриття шахт відносять підтоплення та заболочування земної поверхні, зміну хімічного складу підземних та поверхневих вод, активізацію зсуву земної поверхні над виробками, погіршення фізико-механічних властивостей гірських порід.

Можливість затоплення осілих ділянок земної поверхні ґрунтовими, атмосферними та паводковими водами в нормативних документах не розглядається. Для часткового вирішення цієї проблеми розглянуті питання теоретичного обґрунтування умов початку зсуву земної поверхні й утворення плоского дна мульди зрушення на земній поверхні. Розроблені критерії оцінки закінчення процесів зсуву порід та осідання земної поверхні. Встановлені особливості впливу повторної підробки через 50–80 років на параметри мульди зсуву земної поверхні. Встановлена тривалість процесів зрушення підроблених порід та умови можливого відновлення природного стану земної поверхні. *Ключові слова:* вугільна шахта, закриття, наслідки, екологія, підтоплення, зсув, поверхня, підробка, заболочування, води, підземні, поверхневі, породи, активізація, зсув, початок, мульда зрушення, плоске дно, тривалість, природний стан, відновлення.

Determination of shiftstates of earth surface and ecological consequences of closing of coal mines. Blinova N., Filatieva E., Skarha V.

Negative ecological consequences for the environment at operation of coal mines and at their liquidation are considered. As a result of the activity of mines there is a change in the relief of the earth's surface under the influence of its forgery by treatment works, as well as a change in the water balance between surface and groundwater. Prolonged operation of mines in the Donbass initially led to the formation of a quasi-stationary ecosystem "mine water – mineral skeleton". This has led to changes in the natural configuration and direction of groundwater flows, man-made increased activity of the relationship with surface waters and changes in the structures of sources of formation of their resources. Closure of mines is associated with the restoration of natural groundwater levels that were drained during operation. The main negative environmental consequences of mine closures include flooding and waterlogging of the earth's surface, changes in the chemical composition of groundwater and surface water, increased landslides over workings, deterioration of physical and mechanical properties of rocks.

The possibility of flooding of the earth's surface by ground, atmospheric and flood waters is not considered in the regulations. To partially solve this problem, the issues of theoretical substantiation of the conditions of the beginning of the landslide and the formation of a flat bottom of the displacement trough on the earth's surface are considered. Criteria for assessing the completion of rock landslides and subsidence of the earth's surface have been developed. The peculiarities of the influence of repeated forgery in 50–80 years on the parameters of the landslide trough are established. The duration of the processes of shifting of rocks and the conditions of possible restoration of the natural state of the earth's surface have been established. *Key words:* coal mine, closure, consequences, ecology, flooding, earth's surface, forgery, waterlogging, water, underground, surface, rocks, activation, shift, beginning, trough shift, flat bottom, duration, natural state, recovery.

Постановка проблеми. Експлуатація вугільних шахт спричиняє негативні екологічні наслідки для довкілля. У період активної діяльності вугільних підприємств основними чинниками, що визначають стан екосистеми, є викиди в атмосферу пило- та газоподібних речовин. Вони видаляються з гірничих виробок вихідними вентиляційними струменями та дегазаційними системами. Окрім цього, негативний вплив

мають породні відвали, які в багатьох випадках є палаючими. Такі екологічні наслідки не є основними під час закриття шахт та їх затоплення. У Донбасі з 1996 по 2014 р. затоплення шахт призвело до підтоплення від 20 до 40% прилеглих до них територій [1]. Це стало наслідком вилучення корисних копалин і попутного видалення з надр породи та води. Унаслідок такої діяльності відбулася зміна рельєфу земної поверхні

під впливом її підробітку очисними виробками, а також зміна водного балансу між поверхневими та підземними водами. У цьому випадку тривала експлуатація шахт на Донбасі спочатку призвела до утворення квазістаціонарної екосистеми «шахтні води – мінеральний скелет». Це призвело до зміни природної конфігурації та спрямованості потоків підземних вод, техногенного посилення активності взаємозв'язку з поверхневими водами та зміни структури джерел формування їхніх ресурсів [2]. Закриття шахт пов'язане з відновленням природних рівнів підземних вод, що були здреновані під час експлуатації. До основних негативних екологічних наслідків закриття шахт належать підтоплення та заболочування земної поверхні, зміна хімічного складу підземних та поверхневих вод, активізація зсуву земної поверхні над виробками, погіршення фізико-механічних властивостей гірських порід, а також видавлювання шахтних газів [3].

Актуальність дослідження. Можливість затоплення осілих ділянок земної поверхні ґрунтовими, атмосферними та паводковими водами в нормативному документі [4] не відображена. Із цієї причини дослідження, що пов'язані з теоретичним обґрунтуванням початку зсуву земної поверхні, умовами утворення плоского дна мульди та розробленням критеріїв оцінки закінчення процесів зсуву порід і осідання земної поверхні належать до актуальних

завдань. Їх рішення необхідне для встановлення остаточних екологічних наслідків експлуатації та закриття вугільних шахт, а також розроблення емпіричних залежностей для інженерних розрахунків зміни рельєфу земної поверхні.

Метою роботи є вивчення умов виникнення, розвитку та згасання процесів зсуву підроблених порід і земної поверхні під впливом очисних виробок та встановлення залежності параметрів цих процесів від гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов ведення гірничих робіт.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Для досягнення мети послідовно розглянуті такі питання: зони впливу очисної виробки під час відпрацювання положих вугільних пластів; встановлення початку зсуву земної поверхні; умови утворення плоского дна мульди зсуву земної поверхні; критерії оцінки закінчення процесів зсуву земної поверхні; вплив повторного підробітку на параметри мульди зсуву земної поверхні; тривалість зрушення й умови можливого відновлення природного стану земної поверхні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Узагальнення даних, що наведені в роботах [4–7], разом із результатами досліджень [8–10] дають деякі уявлення [11] про утворення можливих зон із різним напруженим станом на момент закінчення процесів зміщення підроблених порід і земної поверхні (рис. 1).

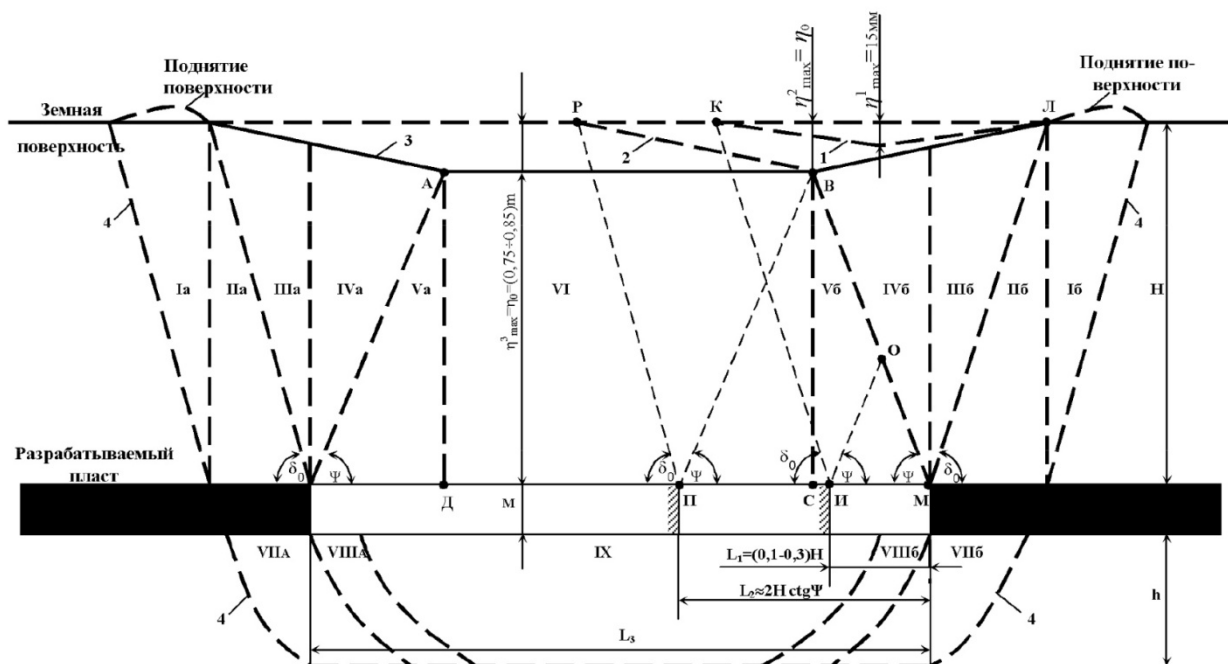


Рис. 1. Зони впливу очисної виробки згідно з узагальненими даними [5–10]

1, 2, 3 – мульди зсуву земної поверхні відповідно за розмірів виробки L_1 , L_2 і L_3 ; 4 – межа впливу очисної виробки за повної підробки земної поверхні з урахуванням її можливого підняття згідно з [8; 9]; L_1 , L_2 і L_3 – розміри очисної виробки, що відповідають зсуву земної поверхні ($\eta^1_{\max} = 15$ мм), досягненню її повної підробки ($\eta^2_{\max} = \eta_0$) і утворенню плоского дна мульди ($\eta^3_{\max} = \eta^2_{\max} = \eta_0$; η_0 – максимальне осідання земної поверхні після її повної підробки (глибина плоского дна); t – потужність пласта, що розробляється; H – глибина залягання пласта; h – відстань, на якій позначається вплив виробки в надпрацьованих породах; δ_0 – граничний кут; ψ – кут повних зрушень; Ia, IIa, IIIa, IVa, Va, VIa, Ib, IIb, IIIb, IVb, Vb – характерні зони впливу очисної виробки.

В умовах повної підробки земної поверхні (появі плоского дна мульди) і процесів зрушення, що закінчилися, з позицій можливого порушення природної рівноваги можна виділити такі зони впливу виробок (рис. 1):

- підняття порід та земної поверхні (Iа, Iб) унаслідок їх вигину [8; 9]. Максимальне підняття земної поверхні в умовах Західного Донбасу досягає 12 мм і відбувається на відстані 0,85 Н попереду очисного вибою;

- стиснення (IIа, IIб) порід (опорного тиску) [5–7]. Порожнини розшарування закриваються [12], що впливає на десорбований газ, перехід його в новий стан залежно від властивостей вміщуючих порід [13];

- знакозмінних деформацій (IIIа, IIIб). Відзначаються як розтягування і стиск за нормаллю до напластування [5]. Залежно від гірничо-геологічних умов і властивостей міцності порід під впливом розтягування можуть утворюватися тріщини, що доходять до земної поверхні [12];

- найбільшого прогину (IVа, IVб) з високою ймовірністю тріщиноутворення [5]. Висота поширення водо- та газопровідних тріщин залежить від співвідношення властивостей міцності порід і величини напруг, що виникають у них. Характеризується можливим інтенсивним газовиділенням у виробки;

- повних зрушень (Va, Vб) та розвантаження від гірського тиску [4; 5–8];

- відновлення гірського тиску (VI), у разі достатнього розмірі виробки наближається до природного [5], породи ущільнюються, тріщини закриваються.

У породах підосви пласта також відбувається перерозподіл напруг [5] з утворенням зон опорного тиску (стиснення VIIа, VIIб), нерівномірних (VIIIа, VIIIб) та рівномірних (IX) піднят (розвантаження від гірського тиску).

Новизна. Наукові результати отримані на підставі узагальнення експериментальних даних про зсув підробленої вуглепородної товщі та земної поверхні під час експлуатації вугільних шахт більш ніж за п'ятдесят останніх років. На їх основі розроблені теоретичне визначення початку зрушення земної поверхні, умови утворення плоского дна мульди зрушення, критерії оцінки закінчення процесів зрушення підроблених порід і земної поверхні. Це дозволяє об'єднати в єдиний логічний ланцюжок утворення квазістаціонарної системи під час роботи вугільних підприємств, а потім під час відновлення природного рівня підземних вод після ліквідації шахт. Отримані результати необхідні для розроблення методик встановлення остаточного рельєфу місцевості та відновлення рівня підземних вод після затоплення шахт у регіонах.

Викладення основного матеріалу. За сучасного розвитку науки і техніки практично неможливо за допомогою приладів зафіксувати початок зсуву земної поверхні під час її підробки вугільними пластами. Із цієї причини це питання досі залишається практично невивченим. Найбільш перспективним напрямом прогнозу параметрів зсуву земної поверхні є математичне моделювання. Згідно з відомими математичними моделями [14], що описують процеси тільки над очисним вибоєм, що рухається, не представляється можливим встановити початок зрушення земної поверхні в разі розвитку очисних

робіт для конкретних гірничотехнічних і гірничо-геологічних умов. Актуальність питання пов'язана з розробленням рекомендацій із ліквідації або зведення до мінімуму негативного впливу на земну поверхню відпрацювання вугільних пластів.

Встановлено [15], що в одних гірничо-геологічних умовах максимальне осідання земної поверхні η_m практично функціонально залежить від ступеня розвитку очисних робіт. Це свідчить про те, що в гірничо-геологічних умовах однієї шахти головним чинником, що впливає на параметри зсуву земної поверхні, є розміри очисної виробки (виробленого простору). Інші чинники, як-от: потужність розроблюваного пласта (m), глибина ведення гірничих робіт (H) і міцнісні властивості підроблених порід (f), залишаються постійними або змінюються незначно. Підтвердженням викладеного є графіки залежності $\eta_m = \varphi(L)$ (рис. 2).

Ці залежності для шахт, що розглядаються, добре описуються експоненціальними рівняннями. Кореляційні відносини перебували в діапазоні $0,940 \div 0,998$. Точки перетину графіків рівнянь із віссю абсцис ($\eta_m = 0$) відповідають початку зсуву земної поверхні. Для кожної із шахт визначили лінійний розмір очисної виробки (L_n), який відповідає початку зсуву земної поверхні.

Знання процесів утворення мульди зсуву земної поверхні та пов'язаного з ними ущільнення підроблених порід після виймання вугільних пластів необхідне для вирішення завдань захисту об'єктів на земній поверхні, а також визначення ступеня відновлення вихідного природного стану підробленого масиву. Дослідження в цій галузі [5–6] були проведені в період часу, що безпосередньо був пов'язаний із веденням гірничих робіт. Відповідно до чинних нормативних документів тривалість процесів зсуву порід визначається з урахуванням глибини ведення гірничих робіт та швидкості просування очисного вибою. Спостереження припинялися, коли сумарні осідання земної поверхні протягом шести місяців не перевищували 10% максимальних, але не більше ніж 30 мм. З іншого боку, відомо, що тривалість зсуву порід над зупиненим очисним вибоєм може в кілька разів перевищувати період їхнього зсуву над рухомим. Процеси ущільнення порід під плоским дном мульди зрушення земної поверхні раніше практично не вивчалися. З урахуванням викладеного, розгляд теоретичних основ утворення плоского дна мульди зрушення земної поверхні й експериментальна їх перевірка є актуальними не лише для вугільної промисловості, а й для інших галузей господарської діяльності.

Відповідно до [5] дном мульди зсуву називають середню її частину, у якій точки земної поверхні мають найбільші осідання, причому подальше збільшення площі підробки не призводить до збільшення осідань цих точок.

Площа мульди в головному перерізі (S_0) повинна прагнути до площі перерізу вийнятого пласта ($S_m = B \cdot m$). Умовою повного відновлення вихідного стану підроблених порід після закінчення деякого періоду часу під плоским дном мульди має бути рівність глибини мульди (η_0) і потужності пласта, що розробляється (m). Отже, критерієм закінчення

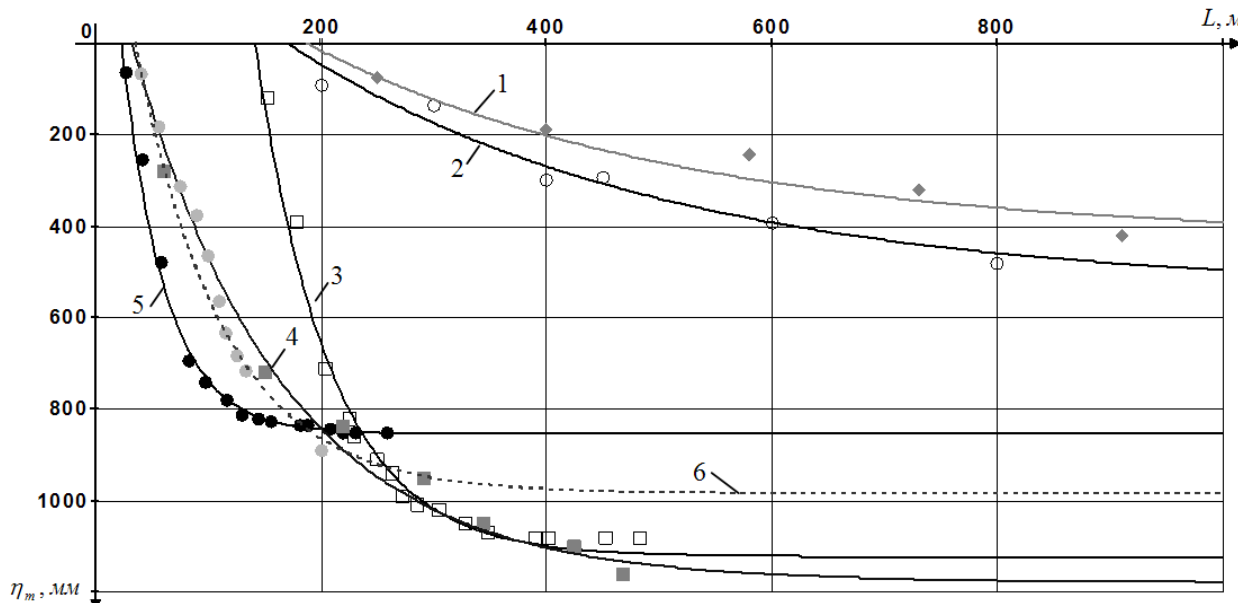


Рис. 2. Графік залежності максимального осідання земної поверхні (η_m) в разі зміни одного з геометричних розмірів виробленого простору (L) для різних гірничо-геологічних та гірничотехнічних умов. \blacklozenge , \circ , \square , \blacksquare , \bullet – експериментальні дані максимальних осідань земної поверхні відповідно в умовах шахт ім. М.В. Фрунзе (пласт h_6) [16], ім. П.Л. Войкова (пласт k_5^1) [17], однієї з польських шахт [18], ім. Г.Г. Капустина (пласт t_3n) [6], «Степової» (пласт C_8) [19], «Ювілейної», пласт C_6 [20]; 1, 2, 3, 4, 5, 6 – емпіричні залежності максимальних осідань земної поверхні

процесів ущільнення порід під плоским дном мульди зсуву є близькість відношення η_0/m до одиниці, а для всієї мульди (усіх зон впливу очисної виробки) аналогічним критерієм може бути відношення S_{η_0} / S_m .

З урахуванням можливості повного відновлення гірського тиску в разі неповного підроблення земної поверхні [21], площа мульди в головному перерізі (S_{η_m}) через деякий час має досягти значення площі вийнятого пласта (S_m). Визначили значення цих площ:

$$S_{\eta_m} = \eta_m \cdot L = \eta_m \cdot [H \text{ctg} \delta_0 + (H - \eta_m) \text{ctg} \psi_0], \quad (1)$$

$$S_m = m \cdot B = 2m \cdot (H - \eta_m) \text{ctg} \psi_0. \quad (2)$$

Для спрощення розрахунків прийняли $H - \eta_m \approx H$. Таке припущення можливе, виходячи зі співвідношення аналізованих величин $H \gg \eta_m$. Прирівнявши після цього праві частини рівнянь (1 та 2), отримали вираз визначення η_m :

$$\eta_m = \frac{2 \cdot m \cdot \text{ctg} \psi_0}{\text{ctg} \delta_0 + \text{ctg} \psi_0}. \quad (3)$$

Виходячи з геометричних побудов та фізичного сенсу, завжди має дотримуватися співвідношення $\eta_m < m$. Воно можливе лише за умови, якщо $\psi_0 > \delta_0$. За $\psi_0 = \delta_0$ згідно з рівнянням (3) $\eta_m = m$, тобто такі рівності є обов'язковими умовами утворення плоского дна мульди зсуву на земній поверхні та свідчать про відновлення вихідного стану підроблених порід. Після закінчення процесів зсуву й ущільнення порід максимальне осідання земної поверхні η_m у разі неповної підробки може дорівнювати глибині мульди зсуву η_0 .

Аналіз (табл. 1) для різних гірничо-геологічних умов показав, що значення η_m/m змінюється в широкому діапазоні від 0,19 до 0,95.

Експериментальні дані свідчать про те, що в багатьох випадках процеси зсуву порід та земної поверхні після припинення очисних робіт далекі від свого завершення і не відповідають припущенням, визначеним у нормативному документі [4]. Найбільш близьким співвідношення η_m/m до одиниці (0,95) спостерігалось в разі виїмки пласта низького ступеня метаморфізму (марка Г) та незначної глибини ведення гірничих робіт (110 м). Таке значення η_m/m , в умовах шахти «Степової» [19], вказує на високий ступінь ущільнення порід, але не свідчить про відновлення земної поверхні, бо в аналогічних умовах утворюються тріщини шириною до 0,8 м та глибиною понад 4,0 м [12].

Таблиця 1
Гірничо-геологічні умови визначення параметра η_m/m

№	Шахта, пласт, джерело	Умови спостережень				η_m/m , частки	
		m , м	η_m , град	H_{ep} , м	η_m , мм		
1.	Ясинівська, l_6 [22]	0,80	4	307	250	К, ОС	0,31
2.	Глибока, h_6 [23]	1,15	5	541	800	ОС, Т	0,70
3.	Комісарівська, l_1 [24]	0,90	6	260	533	Т	0,59
4.	Україна, K_7' [24]	0,65	—*	540	122	ОС, Т	0,19
5.	ім. 50-річчя СРСР, i_3' [25]	1,00	4	692	465	Ж	0,47
6.	Ворошилівська, i_3' [26]	1,00	4	500	410	А	0,41
7.	Степова, C_8 [19]	0,91	4	110	865	Г	0,95

Примітка: * – немає даних.

В умовах шахт «Глибока» та ім. 50-річчя СРСР на деяке збільшення відношення η_m/m вплинуло відпрацювання кількох пластів (табл. 1).

У разі ведення очисних робіт на глибині понад 250 м значення η_m/m не перевищують 0,6, що підтверджує значне зниження загальної тривалості процесів зсуву підроблених порід та земної поверхні згідно із [4]. Ці рекомендації базуються на геометричних параметрах зон впливу очисних виробок для конкретної глибини та швидкості посування очисного вибою. Ураховуючи продовження процесу зсуву порід після припинення очисних робіт, вплив v_{oc} , очевидно, має зменшитися, а інших чинників – зрости. Зміни співвідношення ступеня впливу окремих чинників підтверджуються експериментальними даними [27].

До головних чинників, що впливають на закінчення процесів зсуву порід та їх ущільнення після припинення очисних робіт, імовірно, можна віднести глибину ведення гірничих робіт, властивості міцності порід і потужність пласта, що розробляється.

Протягом останніх кількох десятиріччів років на Донбасі вугільні пласти зазвичай відпрацьовували в низхідному порядку, тому в багатьох випадках земна поверхня до ведення очисних робіт на глибших горизонтах неодноразово підроблялася. На вищерозташованих горизонтах вугілля видобували 50–80 років тому.

Вплив наступних підробок через тривалий період на зміни параметрів мульд зрушення земної поверхні не вивчався. Досі відсутні експериментальні та теоретичні дослідження, на підставі яких можна було б оцінити спільну дію відпрацювання кількох пластів у різний час на стан земної поверхні. Знання розглянутих питань необхідне для розроблення заходів із захисту об'єктів на земній поверхні й у гірничих виробках, а також вирішення інших завдань, що пов'язані із проявом гірського тиску і зрушенням підроблених порід.

Дослідження проводилися під час відпрацювання пластів l_2^e, l_2^h, K_7^h у різний час шахтою «Княгининська» ДП «Донбасантрацит». Виймана потужність і середня глибина відпрацювання пластів відповідно становили 1,25; 0,75; 0,75 та 275; 280; 575 м; кут падіння – 3–6°. Виймкові ділянки 5-ї та 6-ї східних лав по пласту K_7^h експлуатувалися в 1987–1988 рр. У підроблюваній ними області були очисні виробки по пласту l_2^e , у яких з 1936 по 1941 р. добували вугілля. Проміжок між відпрацюванням пластів – від 46 до 53 років. Розрахункова тривалість процесів зсуву порід після їх підробки пластом l_2^e мала становити приблизно 13 місяців. Передбачалося, що ці процеси на початок виїмки пласта K_7^h завершилися і породи значно ущільнилися.

Профільна лінія I простягалася не в головному перерізі мульди зрушення, її проєкція практично збігалася з лінією падіння пласта. Графіки осідання реперів цієї профільної лінії показали (рис. 3), що процеси зсуву й ущільнення порід тривали через вісім років після їх підробки пластом K_7^h . Осідання над масивом вугілля пласта за чотири останні роки спостережень становило понад 100 мм. За весь період після підробки максимальне осідання земної поверхні досягло 175 мм і знаходилося над виробленим простором лав відпрацьованого пласта l_2^e у 1939–1941 рр. Це свідчить про те, що виїмка пласта викликала активізацію зсуву раніше підроблених порід пластом l_2^e .

Більш суттєві осідання земної поверхні спостерігалися на реперах 31–61 профільної лінії II. Вона розташовувалася у головному перерізі мульди зрушення земної поверхні після відпрацювання 5-ї та 6-ї східних лав. Зафіксовано абсолютне максимальне осідання земної поверхні за період спостережень – 305 мм, а останні чотири роки – приблизно 200 мм (рис. 4). Експериментальні дані порівняли з розрахунковими параметрами осідання земної поверхні [4]. Розрахункові максимальні осідання земної поверхні в разі першочергового

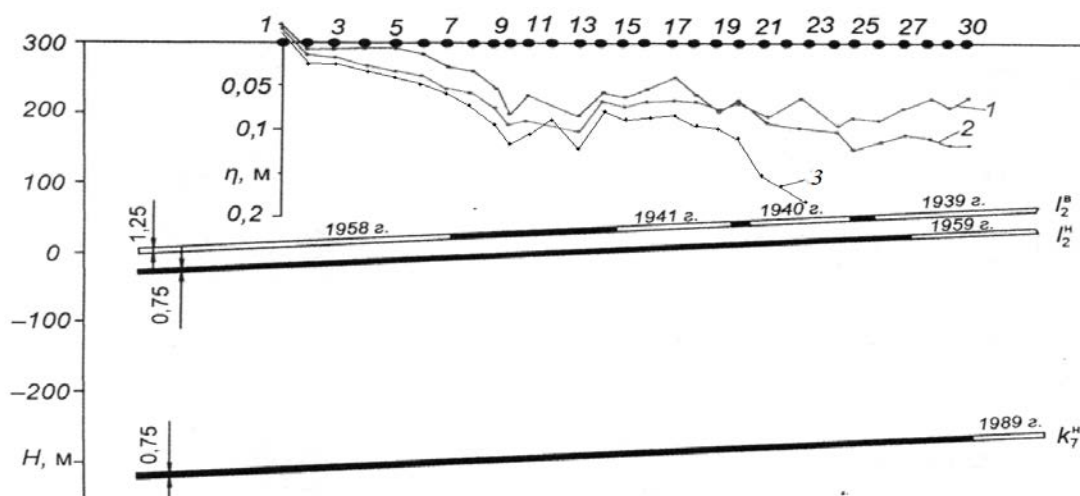


Рис. 3. Вертикальний переріз за профільною лінією реперів 1–30 в разі відпрацювання 5-ї та 6-ї східних лав у 1987–1988 рр.

1, 2 і 3 – осідання реперів η на земній поверхні відповідно 13 квітня 1992 р., 26 квітня 1994 р. і 10 червня 1996 р.

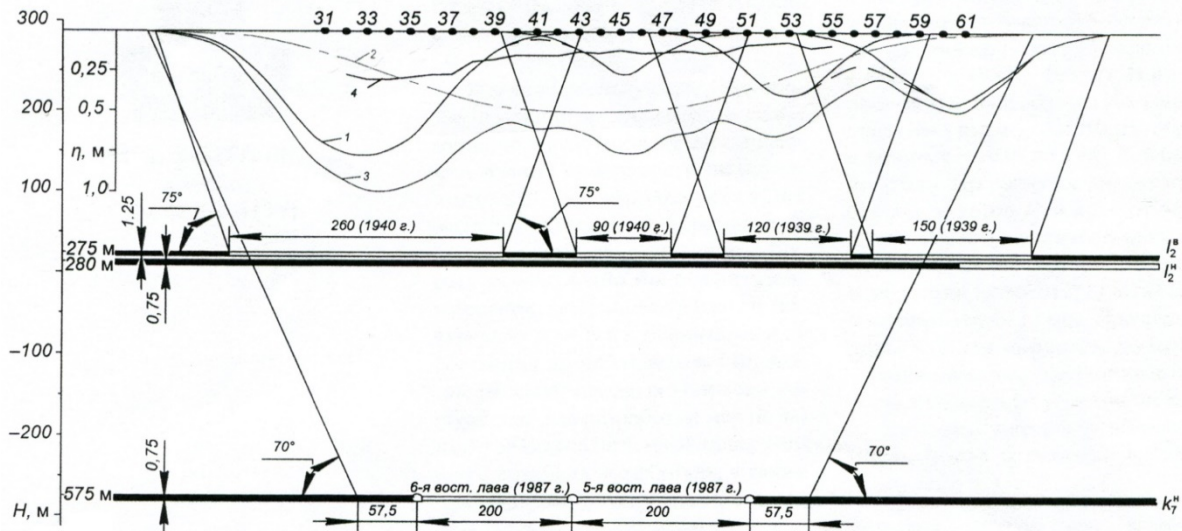


Рис. 4. Вертикальний переріз підробленої товщі порід за профільною лінією II, що суміщений із графіками осідань η реперів 31–61

1 і 2 – розрахункові мульд осідання земної поверхні під час її підробки пластами l_2^g і K_7^H ; 3 – сумарна розрахункова мульда осідань земної поверхні за спільного відпрацювання пластів l_2^g та K_7^H ; 4 – фактична мульда осідання земної поверхні за повторної її підробки пластом K_7^H .

відпрацювання пласта l_2^g над виробленим простором шириною 260 м становили 0,78 м, над виробленим простором шириною 90 м – 0,27 м, над виробленим простором шириною 120 м – 0,41 м, над виробленим простором шириною 150 м – 0,48 м (рис. 4).

Максимальне розрахункове осідання земної поверхні – 0,51 м, у припущенні першочергового відпрацювання пласта K_7^H , розташоване над серединою вироблених просторів 5-ї та 6-ї східних лав, а максимальне фактичне осідання (305 мм) відбулося над серединою виробленого простору пласта K_7^H довжиною 260 м у вертикальному перерізі. Це вказує на відмінні особливості формування мульди зсуву земної поверхні за її повторної підробки.

Вплив наслідків відпрацювання вугільних пластів на земну поверхню оцінюється нині лише з позицій охорони споруд та об'єктів від руйнування чи забезпечення їхнього функціонування в нормальному режимі [4].

Можливість відновлення природного стану земної поверхні (повного чи часткового) нормативними документами не розглядається. Знання цього питання необхідне для вирішення екологічних проблем. Наприклад, відновлення водного балансу поблизу земної поверхні та пов'язаного з ним рослинного світу.

Можливість відновлення гірського тиску в разі неповної підробки земної поверхні [28] дає підстави припускати, що через деякий час площа мульди в головному перерізі (S_{η_m}) має досягти значення площі перерізу вийнятого пласта (S_m). Для спрощення розрахунків криволінійні проекції напівмульди замінили прямолінійними відрізками і визначили значення площ:

$$S_{\eta_m} = \eta'_m B + \eta'_m \cdot H \cdot \text{ctg} \delta'_{\circ} \quad (4)$$

$$S_m = m \cdot B \quad (5)$$

Прирівнявши праві частини рівнянь (4 та 5), отримали формулу для визначення максимально можливого значення η'_m за відновлення вихідного природного стану земної поверхні:

$$\eta'_m = \frac{B \cdot m}{B + H \cdot \text{ctg} \delta'_{\circ}} \quad (6)$$

Відповідно до [25] процеси зсуву земної поверхні й ущільнення порід проходять три стадії – початкову, інтенсивного розвитку та загасання. Виходячи з технічних можливостей, спостереження [23; 25; 29–32] проводилися практично на стадії інтенсивного перебігу процесів. До початку спостережень фіксувалися суттєві осідання підроблених порід та земної поверхні ($\eta_m = 93 \dots 430 \text{ мм}$), а швидкість їх зсуву становила 5...68 мм/міс. Максимальні значення цих параметрів за період спостережень для різних об'єктів перебували відповідно в межах 100...1 600 мм та від 5 мм/міс до 100 мм/добу. Повний період спостережень, залежно від завдань і гірничо-геологічних умов, становив від чотирьох до двадцяти місяців. Спостереження припинилися, коли середня швидкість осідання підроблених порід, земної поверхні й інших об'єктів зменшувалася до 5...60 мм/міс. Процеси зрушення під час спостережень були далекі від завершення, що підтверджується незначними (табл. 2) значеннями η_m щодо потужності пласта ($\eta_m / m = 0,08 \dots 0,82$).

З віддаленням від розроблюваного пласта величина максимального осідання порід і земної поверхні зменшується і становить деяку частку від потужності пласта [23; 25; 29–32]. Статистична обробка експериментальних даних [33] показала, що під час ведення очисних робіт на глибині приблизно 1 000 м середнє значення η_m дорівнює 0,15 м. Істотно зменшується і середня швидкість осідання порід та

Таблиця 2

Відомості про умови проведення експериментів [23; 25; 29–32] та розрахункові дані про можливу тривалість процесів зсуву й ущільнення порід (T_o).

Літературне джерело	Шахта, пласт	m , м	h/H , м	η_m , мм	η_m/m , частки	\bar{U}_o , мм/міс	Тривалість процесів, міс		
							T_e	$T_{наб}$	$T_o = T_e + T_{наб}$
[31]	Нововолинська, n_8	1,50	345	722	0,48	18	14,9	13,0	27,9
		1,50	345	755	0,50	25	9,4	13,0	22,4
[32]	Павлоградська, C_8	2,10... 2,20	94	1600	0,74	400**	(-0,3) *	4,0	4,0
[32]	№ 1 Новогродівська, k_8	1,00	33	820	0,82	60	2,2	5,5	7,7
[25]	Оріхівська, k_2	1,70	520	465	0,27	15	44,9	9,0	53,9
		1,70	200	800	0,47	35	17,9	9,0	26,9
		1,70	220... 520	400	0,24	30	33,7	9,0	32,7
[23]	Глибока, h_6	1,15	541	800	0,70	17	(-1,7) *	20,0	20,0
		1,15	541	720	0,63	36	1,4	20,0	21,4
		1,15	115	860	0,75	32	5,5	20,0	25,5
[30]	Шахтарська – Глибока, h_8	1,30	1005	107	0,08	6	68,8	19,6	88,4
		1,30	1005	100	0,08	5	84,0	19,6	103,6
		1,30	1005	123	0,09	6	66,2	19,6	85,8

Примітка: * – у подальших розрахунках прийнято $T_b = 0$; ** – середня швидкість осідання за період спостережень.

земної поверхні (\bar{U}) у разі віддалення підроблюваних об'єктів (h) від пласта. Така залежність, у першому наближенні, задовільно описується рівнянням:

$$\bar{U} = 16399 \cdot h^{-1,06}, \text{ мм/міс.} \quad (7)$$

Підтвердженням цьому є суттєве значення теоретичного кореляційного відношення $R = 0,79$, його достовірність $m_R = 0,10$ та значимість $t_R = 7,86$.

Якщо на стадії ведення очисних робіт у конкретних гірничо-геологічних умовах визначено фактичні значення η_m , то згідно з рівнянням (6), у разі закінчення процесів ущільнення підроблених порід, можна розрахувати гранично-можливу величину η'_m .

За різницею цих величин, за допомогою даних про середню швидкість осідання підроблених об'єктів, на стадії згасання процесів зсуву (\bar{U}_o) оцінили тривалість відновлення (T_e) природного стану земної поверхні та порід:

$$T_e = \frac{\eta'_m - \eta_m}{\bar{U}_o}, \text{ міс.} \quad (8)$$

Значення η'_m визначили за фактичними параметрами B і H та значеннями граничних кутів δ'_i , що рекомендуються нормативними документами. Результати розрахунку можливого періоду відновлення природного стану підроблених порід та земної поверхні після закінчення очисних робіт (T_e), а також загальної тривалості процесів (T_o) наведено в таблиці 3.

Залежно від гірничо-геологічних умов можливий період відновлення природного стану після закінчення очисних робіт (T_e) перебував у широкому діапазоні. Виходячи з фізичних уявлень, головними чинниками, що впливають на тривалість відновлення вихідного стану, є міцнісні властивості порід і глибина ведення очисних робіт (H) або відстань від пласта, що розробляється, до підроблюваних об'єктів (h). Так, наприклад, в умовах шахти «Павлоградська» за глибини 94 м і низьких властивостей міцності вміщаючих порід природний стан відновлювався практично відразу після закінчення очисних робіт. У разі

відпрацювання антрацитових пластів на глибоких горизонтах і більш міцних вміщаючих порід загальна тривалість процесів становила 7–10 років.

Наявні експериментальні дані та результати розрахунку загальної тривалості процесів зсуву й ущільнення порід (T_o) дозволили встановити її залежність від глибини (H) ведення очисних робіт (відстань до підроблюваних об'єктів h).

$$T_o = 0,085 \cdot H(h) + 0,7, \text{ міс.} \quad (9)$$

Рівняння (9) характеризується високим значенням парного коефіцієнта кореляції ($r = 0,91$), його значимістю ($t_r = 17,4$) та надійністю ($m_r = 0,05$). Це свідчить про можливість застосування залежності в першому наближенні у практичних розрахунках за глибини ведення очисних робіт понад сто метрів.

Головні висновки за результатами роботи:

– значення розмірів виробок, за яких починалося зрушення земної поверхні, перебували в діапазоні 23–187 м. Вони залежали від потужності пластів, що розробляються, глибини ведення гірничих робіт, міцнісних властивостей порід, що підробляються, і швидкості просування очисних вибоїв;

– фактична тривалість процесів зрушення порід, що підробляються, і земної поверхні значно перевищує рекомендовану нормативним документом. У разі відпрацювання антрацитового пласта вона становила понад десять років;

– максимальне осідання земної поверхні відбувається над серединою виробленого простору раніше відпрацьованих лав, що свідчить про активізацію зсуву порід через 40–50 років після їх первинної підробки. Після повторної підробки максимальне осідання земної поверхні переважно залежить від розмірів виробленого простору раніше відпрацьованих пластів;

– процеси, що визначають екологічні наслідки під час експлуатації вугільних шахт та після їх закриття, суттєво відрізняються один від одного. Під час експлуатації вугільних шахт цей вплив визначається

відкачуванням води з гірничих виробок і її дренажуванням з порід, які підробляються, що призводить до зниження рівня підземних вод. Ліквідація шахт викликає відновлення цього рівня у змінених умовах стану підроблених порід та рельєфу земної поверхні.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати необхідні для розроблення методики впливу діючих шахт на стан навколишнього середовища, що суттєво змінюється після ліквідації шахт і їх затоплення.

Література

1. Фомин В.О. Прогнозирование изменения притока подземных вод в ликвидированную шахту. *Уголь Украины*. 2007. № 2. С. 31–33.
2. Сляднев В.А., Яковлев Е.А., Юркова Н.А. Шахтные воды как фактор техногенного риска изменения состояния геологической среды. *Уголь Украины*. 2007. № 3. С. 43–46.
3. Заборин М.С., Богун Л.Д., Воевода Б.И. Геодинамика и её влияние на восстановление гидрогеологических условий в пределах закрытых шахт. *Уголь Украины*. 2007. № 2. С. 31–33.
4. ГСТУ 101.001592226.001 – 2003. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. Вид. офіц. Київ, 2004. 128 с.
5. Сдвижение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений / А.Г. Акимов и др. Москва : Недра, 1970. 224 с.
6. Иофис М.А., Шмелёв А.И. Инженерная геомеханика при подземных разработках. Москва : Недра, 1985. 248 с.
7. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. Москва : Недра, 1983. 280 с.
8. Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. Москва : Недра, 1976. 272 с.
9. Ларченко В.Г. Стадии деформирования и зоны сдвижения подработанной толщи пород. *Вестник Международной академии наук экологии и безопасности*. 2001. № 1 (37). С. 127–130.
10. Озеров И.Ф. Сдвижение земной поверхности и геомеханические процессы в толще горных пород. *Уголь Украины*. 2001. № 5. С. 51–54.
11. Дубовик А.И., Филатьев М.В., Филатьева Э.Н. Инженерная геомеханика при отработке угольных пластов. Лисичанск : ДонГТУ, 2017. 250 с.
12. Ларченко В.Г. Факты, подтверждающие теорию механизма сдвижения толщи горных пород. *Вестник Международной академии наук экологии и безопасности*. 2002. Т. 7. № 7 (55). С. 70–73.
13. Ставрогин А.Н., Протесеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах. Москва : Недра, 1985. 271 с.
14. Кулибаба С.Б., Рожко М.Д., Хохлов Б.В. Характер развития процесса сдвижения земной поверхности во времени над движущимся очистным забоем. *Наукові праці Українського державного науково-дослідного проєктно-конструкторського інституту гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи Національної академії наук України*. 2010. № 7. С. 40–54.
15. Филатьев М.В. Влияние степени развития очистных работ на максимальное оседание земной поверхности. *Уголь Украины*. 2011. № 4. С. 12–16.
16. Аверин Г.А., Кирьязов Н.Н., Доценко О.Г. Влияние слоистости на оседание земной поверхности. *Уголь Украины*. 2010. № 10. С. 34–35.
17. Борзых А.Ф., Горовой Е.П. Влияние ширины выработанного пространства на активизацию сдвижения угленосного массива. *Уголь Украины*. 1999. № 9. С. 26–30.
18. Бабенко Е.В. Настройка модели для моделирования сейсмических событий техногенной природы. *Проблеми гірського тиску / Донецький національний технічний університет*. 2009. № 17. С. 67–93.
19. Ларченко В.Г. Влияние подземной разработки угольных пластов на состояние земной поверхности. *Вестник Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы*. 1998. № 4 (12). С. 39–41.
20. Назаренко В.О., Пилипенко П.П. Розвиток осідань земної поверхні при відході лави від розрізної печі. *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. 2012. № 1 (60). С. 126–129.
21. Епишев Г.П., Новичихин И.А. О возможности восстановления горного давления при неполной подработке земной поверхности. *Уголь Украины*. 1981. № 1. С. 7–8.
22. Исследование закономерностей сдвижения массива горных пород при отработке угольных пластов / Б.И. Мягкий и др. *Уголь Украины*. 1972. № 10. С. 11–12.
23. Выемка предохранительного целика под действующим вертикальным стволом / С.Б. Кулибаба и др. *Уголь Украины*. 1991. № 8. С. 28–31.
24. Борзых А.Ф., Желтиков Ю.А. Прогнозирование максимальных оседаний пород в пределах подрабатываемой угленосной толщи. *Уголь Украины*. 1989. № 7. С. 9–10.
25. Опыт расконсервации околоствольных целиков с применением гармонической отработки пластов / С.Б. Кулибаба и др. *Уголь Украины*. 1989. № 7. С. 7–8.
26. Борзых А.Ф., Аверин Г.А., Князьков О.В. Прогнозирование максимальных оседаний пород подработанного угленосного массива. *Вестник Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы*. 2004. Т. 9. № 7 (79). С. 34–38.
27. Борзых А.Ф., Тыняный В.И. Смещение пород на линии остановленного очистного забоя. *Уголь Украины*. 1985. № 5. С. 12–13.
28. Епишев Г.П., Новичихин И.А. О возможности восстановления горного давления при неполной подработке земной поверхности. *Уголь Украины*. 1981. № 1. С. 7–8.
29. Опыт подработки автодорожного моста в Западном Донбассе / И.Е. Головчанский и др. *Уголь Украины*. 1983. № 12. С. 36–37.
30. Кулибаба С.Б., Голдин С.В., Крюченков А.Ф. Подработка вертикального ствола в условиях объединения Шахтёрскуголь. *Уголь Украины*. 1993. № 12. С. 39–41.
31. Бейлинов Я.И., Шевелев В.Б. Опыт подработки Нововолынского кирпичного завода. *Уголь Украины*. 1972. № 7. С. 51–52.
32. Белан Н.А. Деформирование пород над очистной выработкой. *Уголь Украины*. 1984. № 3. С. 38–39.
33. Филатьев М.В., Антощенко Н.И., Сятковский С.Л. Влияние глубины ведения очистных работ на максимальное сдвижение земной поверхности при отработке угольных пластов. *Школа підземної розробки : IV Міжнародна науково-практична конференція, 12–18 вересня 2010 р. Дніпропетровськ : НГУ, 2010. С. 39–45.*