

© О.О. Масик¹, О.С. Кучин¹, О.В. Беліченко¹¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ КУТОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЗРУШЕННЯ ПРИ ПОВТОРНІЙ ПІДРОБЦІ В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

© O. Masyk¹, O. Kuchin¹, O. Belichenko¹¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

INVESTIGATION OF SUBSIDENCE PROCESS ANGULAR PARAMETERS DURING SECONDARY UNDERWORKING IN THE CONDITIONS OF WESTERN DONBAS

Мета. Дослідження впливу покривних порід великої товщини на граничні кути при повторній підробці.

Методика дослідження полягає в аналізі та математичній обробці результатів маркшейдерських інструментальних спостережень за зрушенням земної поверхні в різних гірничо-геологічних умовах її підробки. В роботі виконано узагальнення результатів аналізу експериментальних даних при первинній та повторній підробках.

Результати дослідження. У статті виконано дослідження величин граничних кутів, отриманих за даними інструментальних вимірів на спостережних станціях у Західному Донбасі. Проаналізовано залежність їх величин в різних перетинах мульди зрушення, на підставі чого встановлено, що значення граничних кутів в перетинах над розрізною піччю, та над виїмковими штреками відрізняються. На підставі порівняння кутів параметрів за результатами експериментальних досліджень та їх нормативних значень встановлена їх суттєва різниця. Визначено, що роздільне використання кутів параметрів в наносах та корінних породах при існуючих значеннях граничних кутів недоцільно для умов Західного Донбасу. При використанні діючих нормативних значень граничних кутів в наносах їх значення в корінних породах перевищать 90°, що протилежить існуючим уявленням про процес зрушення.

Наукова новизна. Вперше для умов повторної підробки встановлено, що величина граничного кута залежить від напрямку руху очисної виробки. Отримані нові значення загальних кутів для підроблюваної товщі Західного Донбасу, що дозволить більш точно визначати границі зони впливу на земній поверхні та підвищить точність прогнозування зрушень та деформацій.

Практичне значення. Результати досліджень дозволяють скоригувати методику визначення граничних кутів для умов повторної підробки у Західному Донбасі, а також прогнозування зрушень та деформацій земної поверхні.

Ключові слова: кути зрушення, граничні кути, максимальні значення, наноси, корінні породи, мульда зрушення, загальні кути, земна поверхня, Західний Донбас.

Вступ. Дослідження кутів параметрів процесу зрушення проводиться з метою виявлення (уточнення) достовірних границь мульди зрушення, що утворюється при повторній підробці. Для отримання границь мульди зрушення при

маркшейдерських вимірах на типових станціях користуються величинами граничних кутів та кутів зрушення. Граничні кути утворюються лінією що з'єднує точку земній поверхні зі значенням нахилів або горизонтальних деформацій $0,5 \cdot 10^{-3}$ на головних вертикальних перерізах з межею виробленого простору [1].

Вивченням закономірностей зрушення займаються достатньо давно – з середини 19 сторіччя. Істотна більшість досліджень присвячена питанням первинної підробки. Проте існує багато випадків, у яких масив багаторазово підроблювався. Класичним прикладом є відпрацювання вугільних пластів у порядку зверху до низу.

Г. Кратч у своїй монографії [2] вказував, що в неодноразово підробленому масиві процеси зрушення протікають інтенсивніше і швидше. Отже, і результат такого більш інтенсивного процесу зрушення буде відрізнятися від того, який би мав місце при первинній підробці. Зі зміною ступеня підробленості масиву змінюється здатність шарів порід вигинатися, а розподіл напружень в масиві стає більш нерівномірним. Ключовим для усіх досліджень повторної підробки є факт активізації процесу зрушення.

Актуальність досліджень. Однією з актуальних задач науки про зрушення гірських порід є дослідження зв'язку між зрушеннями, що утворені первинною і повторною підробками. За останні роки досліджень процесу зрушень і деформацій при повторній підробці виконано не так багато.

Так, в роботі [3] проаналізована повторна підробка свити антрацитових пластів в Донбасі. Було встановлено, що при відпрацюванні антрацитових пластів після 50 років від їх первинної підробки відбувається активізація процесу зрушення. Також автори вказують на велику (майже у 2 рази) розбіжність між розрахунковими та отриманими зі спостережень осіданнями по факту повторної підробки свити пластів. Дослідження кутових параметрів процесу зрушення в роботі не проводилося.

Спроба вирішити проблему розбіжностей між розрахунковими і фактичними параметрами процесу зрушення була зроблена Ю.В. Посильним [4]. Запропоновано введення в розрахункові величини коефіцієнтів запасу, що визначаються окремо для умов повторної підробки (КОНД). Було введено поняття коефіцієнту одиниць небезпечних деформацій. Для умов східного Донбасу було виконано виміри і розраховано середнє значення КОНД для деформацій нахилу і кривизни.

В роботі [5] було виявлено залежність між горизонтальною та вертикальною складовою вектора зрушення для умов Верхньокамського родовища калійних солей. Також встановлена закономірність між швидкістю горизонтальних деформацій і швидкістю осідань. Виконаний обсяг інструментальних спостережень дозволив створити, щоправда лише для умов конкретного родовища, методику визначення деформацій та меж мультуди зрушення при послідовному відпрацюванні шахтного поля.

В серії робіт [6-8] присвячених дослідженню процесу зрушення Шахтинського району Донбасу було створено методику для визначення кутових парамет-

рів та максимального осідання для неодноразово підробленої товщі. Вказана методика розрахунку базується на використанні типових кривих, що були отримані на основі великої кількості натурних спостережень.

Для Старобінського родовища калійних солей у Білорусі було розроблено моделі процесу зрушення [9], з урахуванням фактору часу відпрацювання лави. Методика передбачує використання диференційованих кутів зрушення та граничних кутів для побудови запобіжних ціликів, що дозволяє більш ефективно та раціонально здійснювати захист підроблюваних об'єктів.

Аналізуючи публікації на тему повторної підробки можна прийти до висновку, що дослідження питання пішло шляхом створення методик для окремих родовищ чи гірничо-промислових районів. Спираючись на дані інструментальних спостережень, що проводилися в цих районах впродовж багатьох років, вчені створюють методики та моделі, що дозволяють вирішувати з достатньою точністю задачу прогнозування зрушень і деформацій в тому числі для повторної підробки. На погляд автора такий підхід можна вважати вдалим, тому що встановити загальну теорію зрушення для умов повторної підробки, при відсутності такої для умов первинної, вкрай складно. Проте таких досліджень все одно дуже мало та відчувається нестача системного підходу до вирішення проблеми.

Для умов Західного Донбасу навіть такі дослідження відсутні.

Основна частина. Великий вплив на процеси зрушення має геологічна будова масиву гірських порід. В цьому плані Західний Донбас має свої особливості, у порівнянні, наприклад, з Центральним Донбасом.

Західний Донбас відноситься до типу закритих вугленосних площ. Потужність покривних відкладень (наносів) змінюється від 50 до 250 м і більше, поступово збільшуючись на північ.

Переважає простягання гірських порід, що вміщують вугільні пласти, субширотне, а падіння на північ і північний захід, переважно полого з кутами падіння до 5° . Потужність робочих вугільних пластів коливається в межах 0,6-1,8 м.

Відкладення карбону представлені аргілітами, алевролітами, пісковиками, вапняками і вугіллям.

Таким чином, геологічна будова товщі порід в Західному Донбасі характеризується:

- великою потужністю наносів, що змінюється в межах від 50 до 250 м з наявністю пливунів і обводнених пісків;
- наявністю великої кількості водоносних горизонтів;
- пологим заляганням вугільних пластів (до 5°);
- наявністю великих і дрібних тектонічних порушень.

У дослідженні було проаналізовано матеріали маркшейдерських вимірів на трьох типових спостережливих станціях на яких мала місце повторна підробка. Усього закладено 270 реперів у складі 7 профільних ліній. Характеристика спостережних станцій приведена в табл. 1.

Характеристика спостережних станцій

| № станції | Шахта | розмір очисного простору, Д1хД2, м | пласт | кут падіння α , град | товщина пластів, т, м | глибина розробки, Н, м | товщина наносів, н, м |
|-----------|--------------|------------------------------------|-------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| 7 | "Степова" | 185х590 | сб' | 4,5 | 0,93 | 210 | 85 |
| 8 | "Степова" | 180х815 | сб' | 4 | 0,9 | 210 | 75 |
| 124 | "Благодатна" | 225х865 | сб | 3 | 1,23 | 330 | 115 |

В усіх вищевказаних випадках відпрацювання пласта відбувалося за підняттям, а спосіб управління покрівлею – повне обвалення. Процес зрушення завершено, а підробка земної поверхні є повною, тобто з наявністю плоского дна.

При визначенні кутових параметрів процесу зрушення по досліджуваним лініям в якості критерію прийнято значення горизонтальних деформацій $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$, та нахилів $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$ величина граничного кута в наносах Західного Донбасу прийнята $\varphi_0 = 45^\circ$ згідно «Правил підробки...» [1] (рис. 1,2).

Отримані в результаті побудов граничні кути зведені в таблицю 2. По результатах спостережень побудовані графіки горизонтальних деформацій і нахилів суміщені з розрізами по профільним лініям. Найбільш характерні з них представлені нижче.

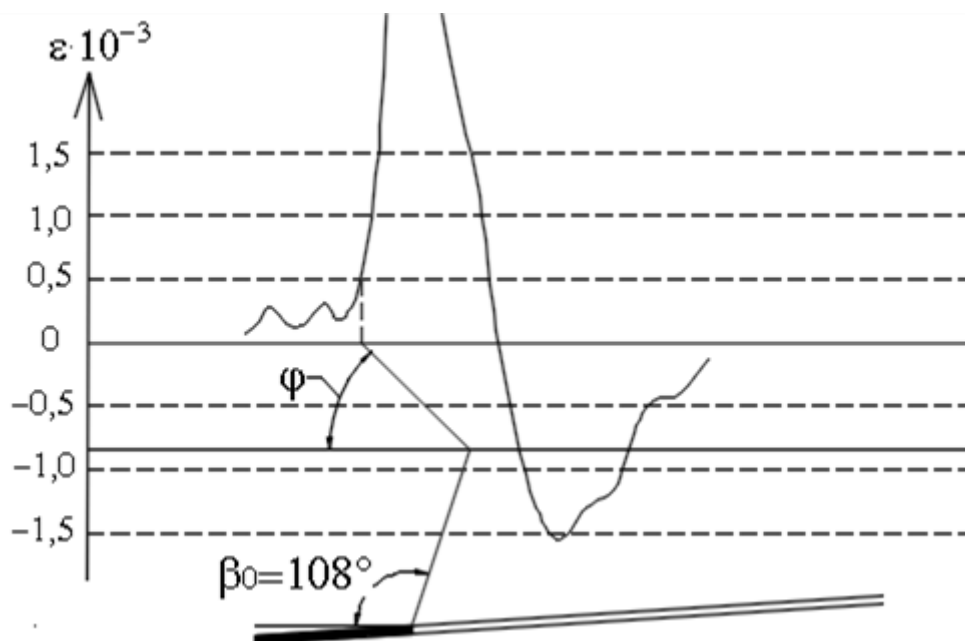


Рис. 1. Графік горизонтальних деформацій, станція 7, лінія 2

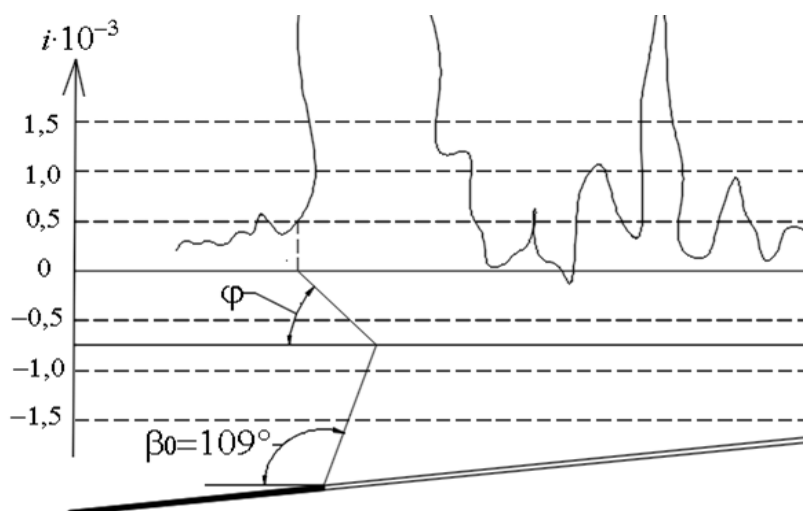


Рис. 2. Графік горизонтальних деформацій, станція 8, лінія 1

Таблиця 2

Значення граничних кутів за методикою [1]

| № станції | Кут падіння d, град | Глибина розробки, Н, м | Товщина наносів, h, м | Співвідношення h/H | Параметр зрушення | Граничний кут, град | Профільна лінія |
|-----------|---------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|-----------------|
| 7 | 4,5 | 210 | 85 | 0,40 | горизонтальні деформації | 78 | 2 |
| | | | | | нахили | 108 | 1 |
| 8 | 4 | 210 | 75 | 0,36 | горизонтальні деформації | 93 | 1 |
| | | | | | нахили | 108 | 2 |
| 124 | 3 | 330 | 115 | 0,35 | горизонтальні деформації | 109 | 1 |
| | | | | | нахили | 109 | 1 |
| | | | | | горизонтальні деформації | 77 | 2 |
| | | | | | | 80 | 3 |
| | | | | | | 86 | 1 |
| | | | | | нахили | 82 | 2 |
| | | | | | | 78 | 3 |
| | | | | | | 90 | 1 |

Як можна побачити з таблиці та рисунків, через велику товщину наносів фактично отримані граничні кути перевищують 90 градусів.

Тому доцільно розглянути інший підхід, що використані в роботах [10,11,12]. Сутність такого підходу складається з двох факторів – того факту, що товща гірських порід в Західному Донбасі складається з наносів великої товщини і порід карбона, та припущення, що значення кутових параметрів процесу зрушення в названих шарах невідомі або однакові. Тому кути зрушення і граничні кути можуть визначалися на розрізах без розділення в наносах і карбоні, тобто як загальні кути нахилу до горизонту ліній, що з'єднують крайні нижні межі очисних гірничих виробок і точки з критичними значеннями деформацій земної поверхні.

Граничні кути, визначені за методикою «загальних кутів», зведено в таблицю 3.

Значення «загальних кутів зрушення»

| № станції | Кут падіння α , град | Глибина розробки, Н, м | Потужність наносів h, м | Співвідношення h/H | Критерій | Граничний кут "повний", град | Профільна лінія |
|-----------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------|
| 7 | 4,5 | 210 | 85 | 0,40 | горизонтальні деформації | 61 | 2 |
| | | | | | | 80 | 1 |
| | | | | | нахили | 67 | 1 |
| | | | | | | 76 | 2 |
| 8 | 4 | 210 | 75 | 0,36 | горизонтальні деформації | 80 | 1 |
| | | | | | нахили | 83 | 1 |
| 124 | 3 | 330 | 115 | 0,35 | горизонтальні деформації | 77 | 2 |
| | | | | | | 80 | 3 |
| | | | | | | 86 | 1 |
| | | | | | нахили | 73 | 2 |
| | | | | | | 70 | 3 |
| | | | | | | 79 | 1 |

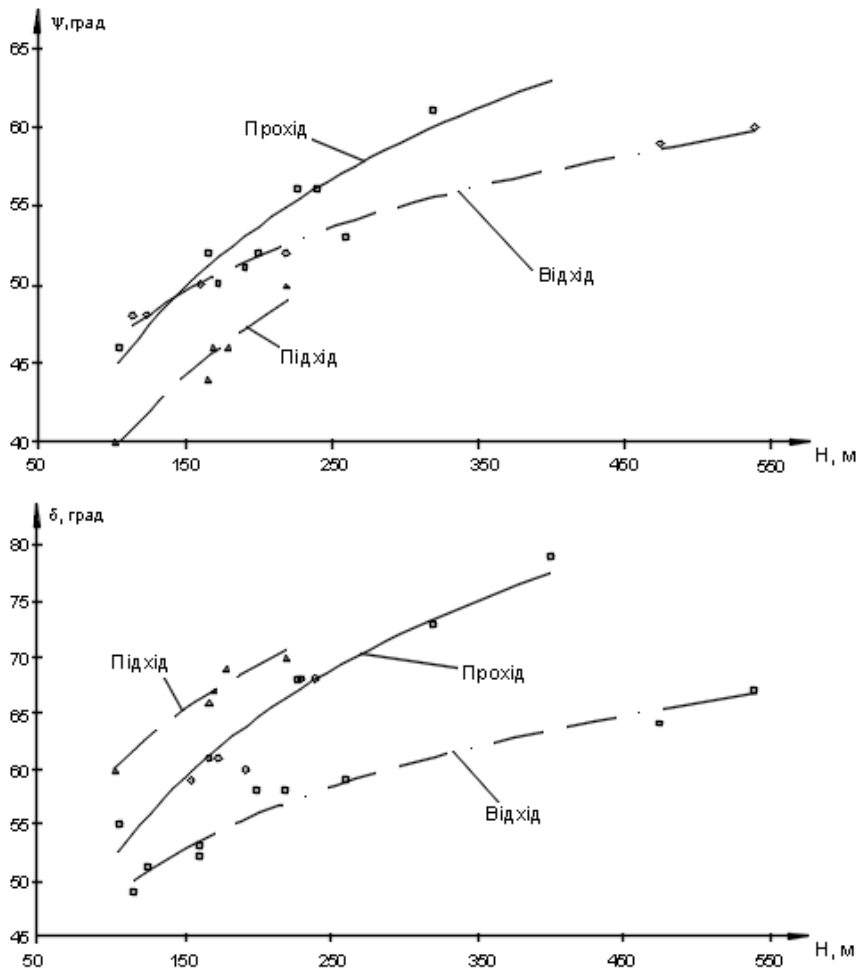


Рис. 5. Графіки кутів повних зрушень і граничних кутів з поділенням зони у відношенні до напрямку руху очисної виробки

Аналізуючи результати досліджень на спостережних станціях Західного Донбасу для умов первинної підробки в роботі [13] визначені формули та графічні залежності для розрахунку граничних кутів та кутів повних зрушень в залежності від напрямку руху очисної виробки (див. рис. 5).

В умовах повторної підробки при аналізі даних по спостережним станціям, встановлено, що також має місце відмінність між граничними кутами, які спостерігаються з боку розрізної печі (відхід лави) та з боку виїмкових штреків (прохід лави). Згруповані за ознакою «відхід/прохід» граничні кути представлені в таблиці 4.

Таблиця 4

Значення повних граничних кутів з поділенням зони у відношенні до напрямку руху очисної виробки

| № станції | Глибина розробки, Н, м | Положення відносно напрямку очисної виробки | Повний граничний кут, град | Профільна лінія |
|-----------|------------------------|---|----------------------------|-----------------|
| 7 | 210 | прохід | 61 | 2 |
| | | прохід | 67 | 1 |
| | | відхід | 80 | 1 |
| | | відхід | 76 | 2 |
| 8 | 210 | відхід | 80 | 1 |
| | | відхід | 83 | 1 |
| 124 | 330 | прохід | 73 | 2 |
| | | прохід | 69 | 3 |
| | | прохід | 70 | 1 |
| | | прохід | 71 | 2 |
| | | відхід | 79 | 3 |
| | | відхід | 76 | 1 |

Порівняння значень граничних кутів отриманих при двох різних методиках побудови представлено на рисунку 6.

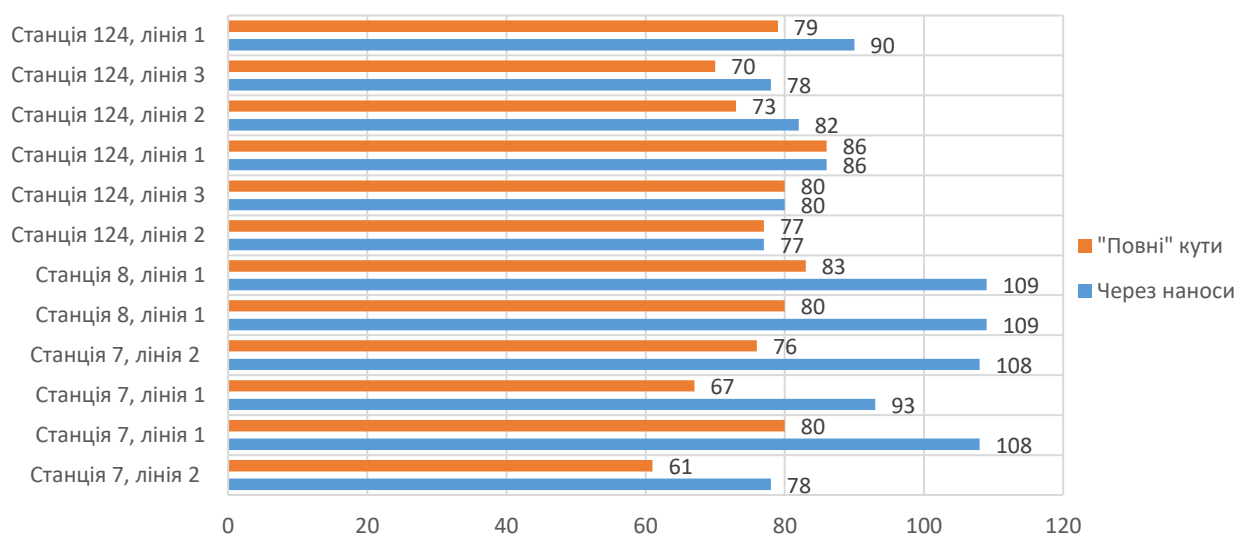


Рис. 6. Порівняння значень граничних кутів за різною методикою визначення

Невелика кількість даних у виборці не дозволяє достовірно встановити залежність граничних кутів від напрямку руху вибою, проте цього достатньо, щоб висловити гіпотезу про існування такої залежності проводячи аналогію з випадками первинної підробки.

В розглянутих станціях діапазон глибин недостатній для групування граничних кутів за глибиною розробки. При аналізі величин граничних кутів для вказаних глибин чіткої залежності не просліджується.

Висновки. Граничні кути в умовах повторної підробки, що визначаються по діючому нормативному документу не відповідають кутам, отриманим при проведенні вимірів на спостережливих станціях.

В умовах повторної підробки кутові параметри процесу зрушення, та їх залежності від глибини розробки або кута падіння пласта відрізняються від умов первинної підробки.

Для повторної підробки простежується залежність граничного кута від напрямку руху очисної виробки, тобто в головних перетинах мульди зрушення граничні кути різні.

В умовах неодноразово підробленої товщі залежності величини граничного кута від глибини розробки, яка має місце для умов непідроблюваної товщі, не виявлено.

В подальшому планується, на основі більшої кількості експериментальних даних отримати залежність граничних кутів від напрямку руху вибою. Також в планах перевірити інші кутові параметри – кути зрушення, та кут повних зрушень за аналогічною методикою, для виявлення подібних залежностей. В перспективі отримати необхідний обсяг експериментальних даних для розробки методики розрахунку кутових параметрів процесу зрушення для умов повторної підробки у Західному Донбасі.

Перелік посилань

1. *Правила підробки будівель, споруд та природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.00159226.001-2003.* (2003). Мінпаливенерго України.
2. Кратч, Г. (1978). *Сдвигение горных пород и защита подрабатываемых сооружений* (Р.А. Муллер & И.А. Петухова (Ред.)). Недра.
3. Антощенко, Н.И., Князьков, О.В., & Филатьев, М.В. (2012). Влияние повторной подработки на параметры мульды сдвижения земной поверхности. *Уголь Украины*, 12, 4-6.
4. Посыльный, Ю.В., & Алмазов, А.А. (2012). Коэффициенты запаса при расчете деформаций земной поверхности в условиях повторной подработки. *Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки*, 5, 84-87.
5. Тенисон, Л.О. (2012). *Разработка методики определения деформаций земной поверхности при ее многократной подработке: Автореферат дисс. канд. техн. наук.* Березники.
6. Тетерин, А.В. (2009). Влияние фактора повторной подработки на оседания земной поверхности. *Перспективы развития Восточного Донбасса : сб. науч. тр. по материалам 58-й регион. науч.-практ. конф.* 1, 117-120.
7. Тетерин, А.В. (2007). *Определение параметров процесса сдвижения земной поверхности при многократной и многолетней подработке в Шахтинском угольном район.* Изд-во

журн. "Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион".

8. Тетерин, А.В. (2000). Обобщение исследований сдвижения земной поверхности по Шахтинскому угольному району. *Научно-технические проблемы шахтного строительства: Сб. науч. тр.*, 257-261.
9. Обыденнова, Т.Н. (2003). *Исследование деформаций налегающей толщи при повторной подработке земной поверхности: на примере Старобинского месторождения калийных солей: Автореферат дисс. канд. техн. наук.* Солигорск.
10. Кучин, А.С., & Назаренко, В.А. (2003). О максимальных значениях горизонтальных сдвижений земной поверхности в западном Донбассе. *Науковий вісник НГА України*, 4, 13-17.
11. Кучин, А.С., & Пиньковский, Г.С. (2003). Влияние направления отработки очистной выработки на характер распределения деформаций земной поверхности. *Труды междунар. науч.-техн. конф. «Геоинформатика, геодезия, маркшейдерия»*, 90-96.
12. Kuchin, O. S., Chemakina, M. V., & Balafin, I. E. (2017). Displacement of undermining rock mass above the moving longwall. *Scientific Bulletin of National Mining University*, (1), 55-60.

АННОТАЦИЯ

Цель. Исследование влияния наносов большой мощности на граничные углы при повторной подработке.

Методика исследований заключается в анализе и математической обработке результатов маркшейдерских инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности в различных горно-геологических условиях ее подработки. В работе выполнено обобщение результатов анализа экспериментальных данных при первичной и повторной подработках.

Результаты исследования. В статье выполнено исследование величин граничных углов, полученных по данным инструментальных измерений на наблюдательных станциях в Западном Донбассе. Проанализирована зависимость их величин в различных сечениях мульды сдвижения, на основании чего установлено, что значения граничных углов в сечениях над разрезной печью, и над выемочными штреками отличаются. На основании сравнения угловых параметров по результатам экспериментальных исследований и их нормативных значений установлена их существенная разница. Определено, что раздельное использование угловых параметров в наносах и коренных породах при существующих значениях граничных углов нецелесообразно для условий Западного Донбасса. При использовании действующих нормативных значений граничных углов в наносах их значения в коренных породах превысят 90° , что противоречит существующим представлениям о процессе сдвижения.

Научная новизна. Впервые для условий повторной подработки установлено, что величина граничного угла зависит от направления движения очистной выработки. Полученные новые значения общих углов для подработки толщи Западного Донбасса, позволит более точно определять границы зоны влияния на земной поверхности и повысит точность прогнозирования сдвижений и деформаций.

Практическое значение. Результаты исследований позволяют скорректировать методику определения граничных углов для условий повторной подработки в Западном Донбассе, а также прогнозирование сдвижений и деформаций земной поверхности.

Ключевые слова: углы сдвижения, граничные углы, максимальные значения, наносы, коренные породы, мульда сдвижения, общие углы, земная поверхность, Западный Донбасс.

ABSTRACT

Purpose. Investigation of high-thickened sediments influence on the angles of draw during secondary underworking.

The methodology consists in the analysis and mathematical processing of the results of mine surveying instrumental observations of the Earth's surface subsidence in various mining and geological underworking conditions. The paper generalizes the results of experimental data analysis during primary and secondary underworking.

Findings. The paper investigates the values of the angles of draw obtained from the data of instrumental measurements at observation stations in the Western Donbas. The dependence of their values in different sections of subsidence profile is analyzed, and at this basis it is established that the values of the angles of draw in sections above set-up entry and above gateroads are different. On the basis of comparison of angular parameters obtained by experimental studies and their predicted values the significant difference is established. It is determined that the separate usage of angular parameters in sediments and bed rock with current values of draw angles is not reasonable for the Western Donbas conditions. Using the current standard predicting values of angles of draw in sediments, their values in bed rock exceeds 90° , which is contrary to the existing ideas of the subsidence process.

The originality. It is established for the first time that the value of the angle of draw depends on the direction of a longwall advance under the conditions of secondary underworking. The new values of draw angles for the underworking of Western Donbas strata are obtained – this allows for more accurate determination of the influence area boundaries of the Earth's surface and increase in the accuracy of subsidence prediction.

Practical implications. The research results allow for adjustment of the angles of draw determination method for the conditions of secondary underworking in the Western Donbas, and of the Earth's surface subsidence prediction.

Keywords: *angles of draw, maximum values, sediments, bed rock, subsidence profile, the Earth's surface, Western Donbas.*