

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БАЛАФІН ІГОР ЄВГЕНОВИЧ

УДК 622.1:622.83

ДИСЕРТАЦІЯ

**«ОБГРУНТУВАННЯ УНІТАРНОСТІ КУТОВИХ ПАРАМЕТРІВ
ЗРУШЕННЯ ГІРНИЧИХ ПОРІД ПРИ НАЯВНОСТІ У ПІДРОБЛЕНІЙ
ТОВЩІ ПОТУЖНИХ НАНОСІВ»**

Спеціальність 184 – Гірництво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



І.Є. Балафін

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник: Кучин Олександр Сергійович, доктор технічних наук

Дніпро – 2026

АНОТАЦІЯ

Балафін І.Є. Обґрунтування унітарності кутових параметрів зрушення гірничих порід при наявності у підробленій товщі потужних наносів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 184 – «Гірництво». – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Дніпро, 2026.

Представлена дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішено актуальну науково-практичну задачу з удосконалення методики визначення кутових параметрів процесу зрушення земної поверхні в умовах розробки вугільних пластів Західного Донбасу при наявності потужних покривних відкладень (наносів).

Виконано аналіз результатів маркшейдерських інструментальних спостережень за зрушенням земної поверхні в умовах розробки пологих вугільних пластів Західного Донбасу. Взагалі досліджено 30 типових спостережних станцій, які склались із 78 профільних ліній та 4220 реперів. Мінливість гірничо-геологічних параметрів підробки спостережних станцій характеризується наступними показниками: глибина підробки – 100-550 м, потужність наносів – 50-200 м, потужність пласта 0.7-1.2 м. Слід відмітити, що унікальною особливістю цього гірничо-видобувного регіону є наявність потужних четвертинних відкладень (наносів).

Потужність наносів визначається за їх віком утворення. При цьому не враховуються фізико-механічні властивості цих порід. Саме характеристики міцності порід впливають на параметри процесу зрушення гірських порід та земної поверхні, а не їх вік. Проведеними дослідженнями геологічної будови родовища Західного Донбасу виявлено, що за показником міцності породних шарів встановити границю розділення четвертинних порід та карбону майже не

можливо. Це обумовлено наявністю в обох шарах пісковиків, аргілітів, алевролітів та вапняків.

У Західному Донбасі дослідженнями встановлені похибки прогнозування зрушень та деформацій земної поверхні за нормативною методикою, які досягають 30% (осідання) і до 70% (горизонтальні деформації). Це пояснюється тим, що вихідні параметри, що використовуються для прогнозування зрушень та деформацій земної поверхні, встановлені без урахування результатів інструментальних спостережень в цьому регіоні. Кутові параметри процесу зрушення за діючою нормативною методикою (ДСТУ 101.00159226.001-2003. Правила підробки будівель, споруд та природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом) були визначені за результатами інструментальних досліджень в інших регіонах СРСР.

Границі зони впливу гірничих робіт визначаються за граничними кутами. Для всіх об'єктів або їх частин на земній поверхні в цій зоні визначаються умови безпечної виїмки вугілля та створюється проєкт підробки. Отже точність визначення границь зони впливу має важливе значення для визначення ймовірної площі процесу зрушення земної поверхні над очисною виробкою.

За результатами побудови графіків зрушень та деформацій земної поверхні визначені граничні кути за відповідними критеріями нахилів ($i = 0,5 \cdot 10^{-3}$) та горизонтальних деформацій ($\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$). Встановлено, що при використанні граничного кута в наносах за діючою методикою експериментально зафіксовані значення граничних кутів в породах карбону мають досить велику розбіжність (55-85°).

Проведено аналіз результатів визначення граничних кутових параметрів без їх розділення в наносах та карбоні. За його допомогою встановлено, що унітарний підхід до визначення зони впливу очисних робіт за допомогою уніфікованих кутів для усієї товщі значно підвищує точність отриманих результатів.

На підставі вивчення та аналізу наукових досліджень процесу зрушення в Західному Донбасі встановлено, що на його параметри впливає напрям ведення очисних робіт в залежності від розташування головного перетину мульди: над розрізною піччю, над виїмковими штреками та лінією зупинки вибою. Такий самий вплив за результатами проведених в роботі досліджень спостерігається також для кутових параметрів процесу зрушення. Роздільний аналіз і узагальнення унітарних граничних кутів дозволив отримати залежності їх від глибини розробки, яка має логарифмічний вид. При розрахунках із використанням встановлених нами залежностей отримано середньоквадратичну похибку уніфікованих кутів до $\pm 2^\circ$, а середньоквадратичне відхилення розрахункових границь мульди від фактичних становило ± 8 м.

Отримані залежності для розрахунку унітарних для всієї товщі, що підробляється, граничних кутів для умов Західного Донбасу, що визначають границі впливу очисних робіт на земній поверхні та враховують деформаційний критерій, глибину розробки вугільного пласта і напрямок ведення очисних робіт.

Граничні кути визначають зону впливу гірничих робіт на земній поверхні. Для визначення довжин напівмульд, які є основою для розрахунку очікуваних зрушень і деформацій, використовують додатково кути повних зрушень. Встановлено, що їх значення також не залежать від потужності наносів і слід розглядати їх як унітарні для всією підроблюваної товщі.

За допомогою наведеного вище алгоритму досліджень встановлені залежності унітарних кутів повних зрушень від глибини відпрацювання вугільного пласта за трьома напрямками визначення цих кутів відносно лінії очисного вибою. Це підвищує точність визначення довжин напівмульд та прогнозування очікуваних зрушень та деформацій земної поверхні. Середньоквадратичне відхилення встановлених залежностей від

експериментально визначених значень складає $\pm 2^\circ$, максимальне відхилення не перевищує 5° .

Для визначення границь небезпечного впливу використовують кути зрушення. Вони визначаються іншими значеннями критеріїв нахилів ($i = 4 \cdot 10^{-3}$) та горизонтальних деформацій ($\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$). Кути зрушення використовують при побудові охоронних ціликів, зокрема для захисту шахтних вертикальних стволів та інших об'єктів важливого призначення.

В роботі встановлено, що надійність визначення границь небезпечного впливу та охоронних ціликів значно підвищується при їх уніфікації в межах всієї підробленої товщі без розділення в породах карбону та наносах. Підтверджено вплив напрямку просування очисного вибою відносно перетину мульди, в якому визначаються значення кутів зрушення.

На підставі проведених аналітичних досліджень визначені залежності для розрахунку унітарних кутів зрушення у вигляді логарифмічних функцій, аргументом яких є глибина. Коефіцієнти цих функцій для різних перетинів мульди зрушення відрізняються. Середньоквадратична похибка відхилень кутів зрушень, розрахованих за «Правилами підробки...», від фактичних (експериментально встановлених) значень складає $\pm 10,2^\circ$. Для кутів, розрахованих за встановленими залежностями, ця сама величина дорівнює $\pm 1,3^\circ$.

В роботі розглянуті всі кутові параметри процесу зрушення, які використовуються в Західному Донбасі для встановлення зон впливу та небезпечного впливу очисних робіт, визначення довжин напівмульд та границь охоронних ціликів для захисту об'єктів від шкідливого впливу. Наведена методика визначення зазначених кутів у вигляді таблиць, графіків та функціональних залежностей для практичного застосування в умовах гірничих підприємств ДТЕК «Павлоградвугілля».

Результати досліджень можуть бути застосовані при перевиданні (корегуванні) діючого нормативного документа (ДСТУ 101.00159226.001-2003. Правила підробки будівель, споруд та природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом).

Проведена оцінка точності отриманих результатів та запропонованої методики дозволяє значно підвищити достовірність визначення кутових параметрів процесу зрушення в Західному Донбасі.

Ключові слова: процес зрушення, стійкість, граничні кути, кути зрушення, зона впливу очисних робіт, деформація та руйнування порід, охорона об'єктів, наноси, глибина розробки.

ABSTRACT

Balafin I.Ye. Justification of the uniformity of angular parameters of rock mass and surface movement in the presence of thick overburden deposits in the undermined strata. – Qualification scientific project in manuscript form.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy 184 – “Mining”. – Dnipro University of Technology, Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2026.

The presented thesis is a completed research work in which a current scientific and practical problem has been solved, namely the improvement of the methodology for determining the angular parameters of the ground movement process under conditions of coal seam mining in the Western Donbas in the presence of thick overburden deposits (Quaternary alluvial formations).

An analysis of the results of mine surveying of instrumental observations of the ground movement process above longwall workings under conditions of mining gently dipping coal seams in the Western Donbas has been carried out. In total, 30 typical observation stations were studied, consisting of 78 profile lines and 4,220 benchmarks.

The variability of mining and geological parameters of the undermined observation stations is characterized by the following indicators: mining depth – 100–550 m, thickness of overburden deposits – 50–200 m, seam thickness – 0.7–1.2 m. It should be noted that a unique feature of this mining region is the presence of thick Quaternary overburden deposits.

The thickness of overburden deposits is determined based on their age of formation. At the same time, physical and mechanical properties of these rocks are not taken into account. However, it is precisely the strength characteristics of rocks that influence the parameters of the rock mass and ground movement process, rather than their age. Geological studies of the Western Donbas deposit have shown that, based on the strength characteristics of rock layers, it is almost impossible to establish a boundary between Quaternary deposits and Carboniferous formations. This is due to the presence of sandstones, argillites, siltstones, and limestones in both layers.

In the Western Donbas, studies have identified errors in predicting ground movement process and deformation using the standard methodology, reaching up to 30% (subsidence) and up to 70% (horizontal deformations). This is explained by the fact that the initial parameters used for prediction were determined without taking into account the results of instrumental observations in this region. The angular parameters of the ground movement process, according to the current standard methodology (GSTU 101.00159226.001-2003 “Rules for undermining buildings, structures, and natural objects during underground coal mining”), were established based on instrumental studies conducted in other regions of the former USSR.

The boundaries of the zone of influence of longwall mining operations are determined by limit angles. For all objects or their parts located on the ground surface within this zone, the conditions for safe coal extraction are determined and an undermining project is developed. Therefore, the accuracy of determining the boundaries of the zone of influence is of great importance for estimating the probable area affected by ground movement process above longwall workings.

Based on the plotted graphs of ground movement process and deformation, the limit angles were determined according to the corresponding criteria of inclinations ($i = 0.5 \times 10^{-3}$) and horizontal deformations ($\varepsilon = 0.5 \times 10^{-3}$). It has been established that when using the limit angles determined for overburden deposits according to the current methodology, the experimentally recorded values of limit angles in Carboniferous rocks show a significant discrepancy (55–85°).

An analysis of the results of determining limit angular parameters without separating them into overburden and Carboniferous rocks has been carried out. Based on this analysis, it has been established that a unified approach to determining the influence zone of longwall operations using general angles for the entire strata significantly improves the accuracy of the obtained results.

Based on the study and analysis of scientific research on the ground movement process in the Western Donbas, it has been established that its parameters are influenced by the direction of longwall mining operations depending on the position of the principal section of the subsidence trough: above the setup room, above the gate roadways, and along the face stop line. According to the results obtained in this study, a similar influence is also observed for the angular parameters of the ground movement process. A separate analysis and generalization of unified limit angles made it possible to obtain their dependence on mining depth, which follows a logarithmic form. Calculations using the established dependencies resulted in a root-mean-square error of up to $\pm 2^\circ$ for the unified limit angles, while the root-mean-square deviation of the calculated trough boundaries from the actual ones was ± 8 m.

The obtained relationships allow for the calculation of unified limit angles for the entire undermined strata under the conditions of the Western Donbas. These angles determine the boundaries of the influence of longwall operations on the ground surface and take into account the deformation criterion, the mining depth of the coal seam, and the direction of mining.

Unified limit angles define the zone of influence of longwall mining operations on the ground surface. To determine the lengths of semi-troughs, which serve as the basis for calculating expected subsidence and deformations, the angles of full displacement are additionally used. It has been established that their values do not depend on the thickness of overburden deposits and should be considered unified for the entire undermined strata.

Using the above research algorithm, dependencies of unified angles of full displacement on the mining depth of the coal seam have been established for three directions of determining these angles relative to the longwall face line. This improves the accuracy of determining the lengths of semi-troughs and predicting expected ground surface subsidence and deformations. The root-mean-square deviation of the established dependencies from experimentally determined values is $\pm 2^\circ$, and the maximum deviation does not exceed 5° .

To determine the boundaries of hazardous influence, displacement angles are used. They are defined by different criteria values of inclinations ($i=4 \times 10^{-3}$) and horizontal deformations ($\varepsilon=2 \times 10^{-3}$). Displacement angles are used in designing protective pillars, in particular for the protection of mine shafts and other critical facilities.

The study has established that the reliability of determining boundaries of the zone of hazardous influence and protective pillars is significantly improved when these parameters are unified within the entire undermined strata without separating Carboniferous rocks and overburden deposits. The influence of the direction of longwall face advance relative to the section of the subsidence trough in which the displacement angles are determined has also been confirmed.

Based on analytical studies, relationships for calculating unified displacement angles have been determined in the form of logarithmic functions, with depth as the argument. The coefficients of these functions differ for various sections of the subsidence trough. The root-mean-square error of deviations of displacement angles

calculated according to the “Rules for undermining...” from the actual (experimentally determined) values is $\pm 10.2^\circ$, whereas for angles calculated using the established relationships, this value is $\pm 1.3^\circ$.

The study considers all angular parameters of the ground movement process used in the Western Donbas for determining zones of influence and hazardous influence of longwall operations, calculating the lengths of semi-troughs, and defining the boundaries of protective pillars for safeguarding objects from adverse effects. A methodology for determining these angles is presented in the form of tables, graphs, and functional relationships for practical application at mining enterprises of DTEK “Pavlogradvuhillia”.

The research results can be applied in the revision (updating) of the current regulatory document (GSTU 101.00159226.001-2003 “Rules for undermining buildings, structures, and natural objects during underground coal mining”).

The assessment of the accuracy of the obtained results and the proposed methodology demonstrates a significant improvement in the reliability of determining angular parameters of the ground movement process in the Western Donbas.

Key words: ground movement process, limit angles, displacement angles, zone of influence of longwall mining operations, protective pillars, overburden deposits, mining depth.

**НАУКОВІ ПРАЦІ, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ
РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ**

*Статті у журналах, що індексуються наукометричними базами даних
Scopus та/або Web of Science Core Collection*

1. **Balafin I.**, Nazarenko V., Bruy H. & Kuchin O. Investigation of reused preparatory workings deformations of as a result of cleaning operations // Mongolian Geoscientist, 2025. – №30(60). – S1–9. <https://doi.org/10.5564/mgs.v30i60.3592>
2. **Balafin I.**, Kuchin O., Nazarenko V. & Bruy H. Regularities of deformation of preparatory workings for reuse in weak rocks of the Western Donbas // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2025. [doi:10.1088/1755-1315/1491/1/012063](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1491/1/012063)
3. **Balafin I.**, Kuchin O., Nazarenko V. & Bruy H. Displacement Earth's surface modeling with GIS technologies use in the mining of mineral deposits // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2025. DOI 10.1088/1755-1315/1481/1/01200.
4. **Balafin I.E.**, Kuchin O.S., Chemakina M.V. Displacement of undermining rock mass above the moving longwall // Scientific Bulletin of National Mining University, 2017. – № 1. – с55-60.

*Статті в наукових фахових виданнях, включених до переліку наукових
фахових видань України*

1. Балафін І.Є., Бруй Г.В. Зрушення земної поверхні і гірського масиву в плоскому дні мульди зрушення // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – 2008.– № 77. – С.122-129.

2. Балафін І.Є., Назаренко В.А., Кучин А.С. Закономерности изменения максимальных оседаний и наклонов земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения // Наукові праці УкрНДМІ. – 2009. – №5. ч.1. – С.267-275.

3. Балафін І.Є. Развитие вертикальных деформаций и горизонтальных сдвижений над движущимся очистным забоем // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ. – 2009. – № 8. – С.7-10.

4. Балафін І.Є. Анализ угловых параметров сдвижения земной поверхности на шахтах Западного Донбасса / И.Е. Балафін // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 5. – С 18-20.

5. Балафін І.Є., Назаренко В.О. Об унитарном характере граничных углов в условиях Западного Донбасса // Вісник Криворізького технічного університету. – 2011. – Вип. 28. – С.27-29.

6. Балафін Є.І., Кучин О.С. Модель зрушення земної поверхні в умовах очисного вибою, що рухається / О.С. Кучин, Є.І. Балафін // Вісник ЖДТУ. – 2016. – №3 (78). – С. 119-12.

Тези доповідей у матеріалах всеукраїнських та міжнародних конференцій

1. Балафін І.Є., Кучин О.С. (11.07.2025). Про унітарний характер граничних кутів в умовах Західного Донбасу. Матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «*Transcending boundaries: unraveling the dynamics of cutting-edge research and its transformative impact on the global sphere*». (с. 75-76). Дніпро, Україна. ISBN 978-617-8293-51-2.

2. Nazarenko V., Brui H., Kuchin O., Balafin I. Investigation of Reused Preparatory Workings Deformations of as a Result of Cleaning Operations. Biannual international conference on geology and mining GEOMINE 2024, Mongolian

University of Science and Technology (Mongolia), 08-10 OCTOBER, 2024.

<https://geomine.must.edu.mn/page/25>

3. Кучин О.С., Назаренко В.О., Бруй Г.В., Балафін І.Є. Моделювання поверхні зрушення за допомогою ГІС технологій при розробці родовищ корисних копалин. Друга міжнародна науково-технічна конференція «Виклики забезпечення мінеральною сировиною України в умовах повоєнної відбудови – 2024» 09-10 травня, 2024. НТУ ДП, Дніпро, Україна.

<https://vgr.nmu.org.ua/ua/Naukova%20dialnist/CEUMR/CEUMR-2024.php>

4. Назаренко В.О., Бруй Г.В., Кучин О.С., Балафін І.Є. Закономірності деформації підготовчих виробок для повторного використання у слабких породах Західного Донбасу. VI Міжнародна конференція «Нариси гірничої науки та практики» 6-8 листопада 2024. Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова НАН України, Дніпро, Україна.

<https://www.rmget.com/index.php/keynote-lectures.html>

5. О значениях граничных углов в Западном Донбассе. Наукова Весна – 2011: Матеріали II науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених. – Д.: ДВНЗ НГУ. – 2011. – С.129-130.

6. Балафін І.Є., Назаренко В.О. Исследование граничных углов на шахтах Западного Донбасса // Матеріали міжнар. конф. «Форум гірників - 2010», Шляхи розвитку маркшейдерсько-геодезичних робіт. – Д.: НГУ. – 2010. – С.263-267.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1 ВИВЧЕННІСТЬ ПИТАНЬ ПРО ЗРУШЕННЯ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ	25
1.1 Основні тенденції розвитку вуглевидобутку в Україні та Західному Донбасі.....	26
1.2 Характер і схеми зрушення гірських порід над очисними виробками.....	27
1.3 Використання кутових параметрів у розрахунках зрушень та деформацій гірських порід та земної поверхні	31
1.4 Граничні кутові параметри зрушення гірських порід та земної поверхні	37
1.5 Висновки до розділу 1	48
РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ КУТОВИХ ПАРАМЕТРІВ ЗРУШЕННЯ ГІРНИЧИХ ПОРІД І ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ	51
2.1 Формування границі мульди зрушення під впливом деформування гірських порід у зоні опорного тиску.....	51
2.2 Гірничо-геометричні та геомеханічні параметри, що впливають на процес зрушення гірських порід та земної поверхні	62
2.3 Вибір напрямку досліджень кутових параметрів процесу зрушення у Західному Донбасі.....	69
2.4 Аналіз та оцінка досліджень граничних кутів у Західному Донбасі.....	71
2.5 Висновки до розділу 2.....	84
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ зрушення ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ В ЗАХІДНОМУ ДОНБАСІ	87
3.1 Геологічна характеристика родовища вугілля Західного Донбасу	87

3.2	Натурні маркшейдерські інструментальні спостереження за зміщенням земної поверхні на шахтах Західного Донбасу	90
3.3	Обробка результатів маркшейдерських спостережень з метою визначення кутових параметрів зрушення мульди	94
3.4	Вплив малих деформацій земної поверхні визначення параметрів зрушення.....	99
3.5	Висновки до розділу 3.....	107
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ КУТОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ зрушення У ЗАХІДНОМУ ДОНБАСІ		110
4.1	Дослідження граничних кутів.....	110
4.2	Дослідження кутів зрушення	127
4.3	Дослідження кутів повних зрушень	140
4.4	Висновки до розділу 4.....	145
РОЗДІЛ 5. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ І РЕКОМЕНДАЦІЇ З ЇХ ВИКОРИСТАННЯ		147
5.1	Аналіз впливу кутових параметрів на результати прогнозування очікуваних зрушень та деформацій земної поверхні	147
	Зкошування.....	151
5.2	Рекомендації щодо використання результатів дослідження кутових параметрів зрушення земної поверхні в Західному Донбасі	152
5.3	Умови застосування методики визначення кутових параметрів в Західному Донбасі.....	158
5.4	Висновки до розділу 5.....	159
ВИСНОВКИ		161
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		165

Додаток А	188
Додаток Б.....	192
Додаток В	194
Додаток Г.....	196
Додаток Д	198

ВСТУП

Актуальність теми. Після втрати контролю над антрацитовими шахтами (марка «А») на Донбасі у 2014-2026 роках, Україна перевела майже всі свої ТЕС на марку «Г», оскільки це вугілля видобувається на підконтрольних територіях (Павлоград, Львівсько-Волинський басейн).

Західний Донбас в умовах сьогодення один із найперспективніших вугледобувних регіонів. Розвідані запаси на родовищі становлять 25 млрд. т. більше половини запасів по Україні. Є перспективні розвідані ділянки: Північно-Василівська площа, Морозівська, Свидовська, Петропавлівська-Глибока, Брагинівська.

Запаси вугілля в зонах впливу гірничих робіт під об'єктами, що охороняються (цивільні та промислові будівлі та споруди, залізниці, трубопроводи тощо) становлять близько 200 млн. т. У зону підробки потрапляють населені пункти: Благодатне, Вербки, Тернівка, Богданівка, Богуслав, Самарське Тельмана, Маломиколаївка, Миколаївка, Першотравенськ та інші.

Вилучення запасів вугілля під перерахованими об'єктами неминуче спричинить зрушення гірських порід і деформування земної поверхні, що може негативно позначитися на стані поверхневих об'єктів у зоні впливу гірничих розробок. Забезпечення безпечної підробки будівель, споруд та природних об'єктів – одне з пріоритетних завдань маркшейдерії.

Успішне вирішення питань охорони об'єктів земної поверхні значною мірою залежить від надійності методів і способів прогнозування зрушень і деформацій земної поверхні, відповідності використаних вихідних параметрів процесу зрушення для інженерних розрахунків.

У Західному Донбасі розбіжності між фактичними, встановленими за результатами маркшейдерських спостережень, та прогнозованими за

нормативною методикою ("Правила підробки будівель, споруд та природних об'єктів при видобутку вугілля підземним способом"), зрушеннями та деформаціями поверхні досягають від 30% до 70%. Це пояснюється тим, що вихідні параметри, що використовуються для прогнозування зрушень та деформацій земної поверхні, встановлені за результатами маркшейдерських досліджень в Західному Донбасі не були використані при створенні діючого стандарту.

Основною складовою будь-якого проєкта підробки є: встановлення зони впливу гірничих робіт на земній поверхні, визначення очікуваних зрушень та деформацій та встановлення заходів з охорони споруд. На всіх етапах створення проєкту використовуються кутові параметри процесу зрушення. Граничні кути та кути повних зрушень позначають на земній поверхні положення та розміри напівмульд, а довжина напівмульди, у свою чергу, визначає величини прогнозованих зрушень та деформацій поверхні. Призначення кутів зрушення – позначити на поверхні границю зони небезпечного впливу очисних робіт. Вони також використовуються при побудові запобіжних ціликів під будинками та спорудами, які не можуть бути підроблені.

Таким чином, уточнення кутових параметрів зрушення гірських порід та земної поверхні над очисними виробками, удосконалення методики прогнозування величин зрушень та деформацій у мульді зрушення є актуальним науково-практичним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тематика дисертаційного дослідження узгоджується з завданнями Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази (МСБ) України на період до 2030 р. в підрозділі «Кам'яне вугілля» глави «Паливно-енергетичні ресурси» розділу IV.

В основу роботи покладено дослідження процесу зрушення земної поверхні у Західному Донбасі, виконані співробітниками кафедри маркшейдерії

НТУ «Дніпровська політехніка» (ДДІ) відповідно до науково-дослідних програм №№ 121 (1970 р.), 294 (1972 р.), 645 (№ ГР 68062854), 1964-1971 р.р., 688 (1964-1966 р.р.), 1964-1966 р.р. 760.61860), 1972-1983 р.р., 874 (1967-1969 р.р.), 050109 (1985-1988 р.р.), Ш-471 (№ ГР 0101 U 005685).

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні мети, науково практичної задачі роботи, обґрунтуванні наукової новизни за результатами досліджень, аналізі результатів багаторічних маркшейдерських спостережень за зрушенням земної поверхні у Західному Донбасі, удосконаленні діючої методики «Правила підробки...».

Метою роботи є наукове узагальнення та встановлення закономірностей прояву на земній поверхні критичних деформацій, що визначають границі зони впливу та зони небезпечного впливу очисної виробки пологого вугільного пласта за наявності в товщі потужних наносів.

Завдання, які заплановані та вирішені для досягнення мети роботи.

1. Виконати аналітичні дослідження встановлених закономірностей формування зон підвищеного гірського тиску, що виникає у породному масиві при відпрацюванні лав вугільних пластів з метою встановлення основних факторів, що впливають на деформування земної поверхні та вибору напрямку дослідження кутових параметрів мульди зрушення.

2. Дослідити відповідність фіксованих нормативних кутових параметрів мульди зрушення фактичному положенню границь впливу та небезпечного впливу очисної виробки на земній поверхні в умовах Західного Донбасу.

3. Виконати дослідження впливу потужності наносів та корінних порід на позиціонування критичних деформацій, що визначають кутові параметри зрушення в мульді.

4. Дослідити вплив основних гірничо-геологічних та гірничо-геометричних параметрів підробки земної поверхні на положення границі зони впливу та зони небезпечного впливу очисної виробки.

5. Встановити закономірності зміни кутових параметрів зрушення земної поверхні в умовах розробки вугільних пластів Західного Донбасу та розробити рекомендації щодо їх застосування.

Об'єкт досліджень – процес зрушення крайової частини мульди зрушення земної поверхні над очисними виробками пологого вугільного пласта при наявності потужних наносів.

Предмет досліджень – кутові параметри зрушення земної поверхні, що визначають зони впливу та небезпечного впливу очисних робіт на земній поверхні.

Методи досліджень. У роботі здійснено комплекс методів наукових досліджень. Загальнонаукові методи: синтез та аналіз літературних даних про процес зрушення гірських порід та земної поверхні з метою встановлення загальних закономірностей формування меж мульди зрушення та формулювання мети та завдань досліджень; метод дедукції – вивчення процесу зрушення загалом і конкретизації напрями досліджень на кутових параметрах; метод індукції – для узагальнення результатів дослідження впливу окремих параметрів підробки земної поверхні з метою встановлення узагальнюючих закономірностей зміни кутових параметрів із зміною найбільш значимих параметрів підробки. Метод аналогії – для дослідження кутових параметрів процесу зрушення земної поверхні на основі їхньої подібності з геометричними параметрами зон підвищеного гірського тиску. Емпіричні методи: метод натурних вимірювань щодо аналізу та узагальнення маркшейдерських спостережень на спостережних станціях; математичного аналізу із застосуванням методів математичної статистики для кореляційного та регресивного аналізу даних про критичні деформації, що визначають межі мульди зрушення.

Ідея роботи полягає у дослідженні деформацій земної поверхні в крайовій частині мульди зрушення внаслідок геомеханічних процесів, що протікають при відпрацюванні лави пологого вугільного пласта при наявності потужних наносів.

На підставі ідеї висунуто **наукову гіпотезу**, яка базується на відомому положенні про взаємозв'язок деформацій земної поверхні в крайовій частині мульди зрушення з деформаціями гірських порід в області підвищеного гірського тиску. Суть гіпотези полягає в наступному: розташування критичних деформацій, що визначають границі зони впливу та зони небезпечного впливу очисних робіт на земній поверхні, залежить від гірничо-геологічних та гірничо-геометричних параметрів без урахування міцнісних характеристик порід. У зв'язку з цим є недостатньо обґрунтованим загальноприйнятий диференціально-уніфікований підхід до визначення границь мульди зрушення, що полягає у застосуванні фіксованих, роздільних для порід наносів та корінних порід кутових параметрів зрушення.

Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна отриманих результатів дисертаційного дослідження полягає в узагальненні та систематизації результатів експериментальних спостережень за зрушенням земної поверхні, розробленні методичних підходів та практичних рекомендацій, спрямованих на вирішення актуальної наукової задачі удосконалення методики визначення кутових параметрів процесу зрушення в Західному Донбасі.

Основні положення дисертації, що становлять її наукову новизну, полягають у такому:

1. На підставі аналізу та узагальнення результатів вивчення деформування гірських порід і земної поверхні над очисними виробками в Західному Донбасі вперше встановлено, що кутові параметри з високою достовірністю можна

вважати уніфікованими в межах підробленої товщі і вони не залежать від співвідношення потужності порід наносів і корінних порід.

2. Вперше встановлено, що положення точок з граничними значеннями нахилів і горизонтальних деформацій земної поверхні, прийнятими як критерії для визначення границь впливу і небезпечного впливу очисних робіт не співпадають.

3. Вперше встановлено, що значення кутових параметрів зрушення земної поверхні не є постійними у межах родовища Західного Донбасу, а закономірно змінюються із збільшенням глибини розробки вугільних пластів. З високим рівнем достовірності залежність кутових параметрів від глибини розробки описується логарифмічними рівняннями, аргументом яких є глибина. 4. Вперше для умов Західного Донбасу встановлено залежність кутових параметрів від напрямку відпрацювання очисної виробки щодо головних перерізів мульди зрушення.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Отримані залежності для розрахунку унітарних граничних кутів для умов Західного Донбасу, що визначають границі впливу очисних робіт на земній поверхні та враховують деформаційний критерій, глибину розробки вугільного пласта і напрям ведення очисних робіт.

2. Визначені залежності для розрахунку унітарних кутів зрушення, що визначають границі небезпечного впливу очисної виробки, що надає можливість підвищення встановлення границь охоронних ціликів при застосуванні гірничих мір охорони.

3. Встановлені значення унітарних кутів повних зрушень в умовах зміни глибини відпрацювання вугільного пласта та напрямку визначення цих кутів, що підвищує точність визначення довжин напівмульд та прогнозування очікуваних зрушень та деформацій земної поверхні.

Результати дисертаційної роботи надають можливість підвищення достовірності визначення границь зони впливу та небезпечного впливу на земній поверхні, удосконалити методику розрахунку зрушень та деформацій земної поверхні, підвищити надійність заходів охорони об'єктів, що підробляються.

Особистий внесок претендента. Автором самостійно сформульовано мету, ідею, завдання, обрано методи досліджень; обґрунтовано напрям дослідження кутових параметрів зрушення гірських порід та земної поверхні; розроблено методику аналізу даних натурних маркшейдерських спостережень, виконано відбір даних спостережень, що відповідають умовам досліджень; виконано математичний аналіз експериментальних даних та встановлено закономірності зміни кутових параметрів зрушення, що полягають у їх залежності від глибини розробки вугільного пласта та напряму ведення очисних гірничих робіт.

В дослідженнях використані матеріали результатів натурних інструментальних спостережень виконані співробітниками кафедри ДГІ (нині НТУ «Дніпровська політехніка», 1860-1990 роки) та проведеними власноруч (2009-2011 роки).

Основні наукові результати, висновки та рекомендації отримані та сформульовані автором самостійно. Зміст дисертації викладено автором особисто.

Внесок автора в опубліковані у співавторстві 9 наукових праць конкретизовано у списку публікацій.

Апробація результатів роботи. Основні результати дисертаційного дослідження, висновки і рекомендації було апробовано автором дисертації на 3 науково-комунікативних заходах: на 6-х міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях, зокрема таких як: II Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Transcending boundaries: unraveling the

dynamics of cutting-edge research and its transformative impact on the global sphere» (11.07.2025), Biannual international conference on geology and mining GEOMINE 2024, Mongolian University of Science and Technology (Mongolia, 08-10 OCTOBER, 2024), Друга міжнародна науково-технічна конференція «Виклики забезпечення мінеральною сировиною України в умовах повоєнної відбудови – 2024» (09-10 травня, 2024), VI Міжнародна конференція «Нариси гірничої науки та практики» (6-8 листопада, 2024), Матеріали II науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених (2011), Матеріали міжнар. конф. «Форум гірників - 2010», Шляхи розвитку маркшейдерсько-геодезичних робіт (2010).

Публікації. Основні положення та результати роботи опубліковані у 15 друкованих роботах, у тому числі у виданнях з високим індексом цитування – 4, у спеціалізованих наукових фахових виданнях 5 статей та 6 доповідей у матеріалах наукових конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 187 найменувань на 22 сторінках та чотирьох додатків на 7 сторінках. Загальний обсяг дисертації – 200 сторінок, з них основний текст – 148 сторінок (6.2 авт. арк.), який містить 58 рисунків та 24 таблиці.

Подяки. Автор висловлює глибоку вдячність усім викладачам та співробітникам кафедри маркшейдерії НТУ «Дніпровська політехніка» (раніш «Дніпропетровський гірничий інститут»), які брали участь у проведенні натурних спостережень за зрушенням земної поверхні на шахтах Західного Донбасу та опрацюванні їх результатів за надану можливість виконати цю роботу, керівнику та адміністрації НТУ «Дніпровська політехніка» за всебічну підтримку та допомогу.

РОЗДІЛ 1 ВИВЧЕННІСТЬ ПИТАНЬ ПРО ЗРУШЕННЯ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

При підземній розробці вугільних пластів відбуваються незворотні зміни в масиві гірських порід навколо вугільного пласта, що розробляється. Ці зміни є наслідком обвалення, осідання та горизонтального зміщення гірських порід над очисною виробкою, перерозподілу напружень породних шарів та їх деформуванням. Зміни в підробленому масиві викликають зрушення та деформації земної поверхні над очисними гірничими роботами, що призводить до зрушення та деформування земної поверхні. Внаслідок цього кожному гірничому підприємстві потрібно здійснювати комплекс заходів з охорони споруд та природних об'єктів від шкідливого впливу гірничих розробок.

Діючий нормативний документ [123] регламентує, що "при підробці існуючих будівель, споруд та природних об'єктів необхідно встановити умови раціонального видобутку вугілля та, за необхідності, застосувати заходи захисту від шкідливого впливу гірничих виробок". Правила раціональної виїмки вугілля передбачають:

- визначення границь зон впливу гірничих робіт та тривалості процесу зрушення земної поверхні;
- визначення розрахункових і допустимих показників деформацій земної поверхні для об'єктів, що знаходяться в зоні впливу гірничих робіт;
- встановлення вимог щодо раціональної виїмки запасів вугілля та застосування мір охорони підроблюваних об'єктів від впливу гірничих виробок.

Питання раціональної виїмки вугілля залежить від надійності методів і способів прогнозування зрушень і деформацій земної поверхні, які залежить від точності визначення вихідних параметрів процесу зрушення. Кутові параметри процесу зрушення є основою для визначення границь впливу гірничих робіт, довжин напівмульд та охоронних ціликів.

1.1 Основні тенденції розвитку вуглевидобутку в Україні та Західному Донбасі

Після втрати контролю над антрацитовими шахтами (марка «А») на Донбасі у 2014-2026 роках, Україна перевела майже всі свої ТЕС на марку «Г», оскільки це вугілля видобувається на підконтрольних територіях (Павлоград, Львівсько-Волинський басейн). Динаміка видобутку вугілля в Україні:

- 2020 рік: 28,8 млн т (падіння на 7,7% через COVID-19 та теплу зиму).
- 2021 рік: 29,3 млн т (незначне зростання, відновлення попиту після пандемії).
- 2022 рік: ~20–22 млн т (суттєве падіння через початок вторгнення та окупацію частини шахт Донбасу).
- 2023 рік: ~18–20 млн т (стабілізація видобутку на підконтрольних територіях, переважно в Дніпропетровській та Львівській областях).
- 2024 рік: ~17–19 млн т (зростання на державних шахтах на початку року на 24%, але загальний спад через закриття ШУ «Покровське» наприкінці року).

Видобуток вугілля у Західному Донбасі здійснюють 8 шахт ДТЕК ПРАТ "Павлоградвугілля". Розвідані запаси корисної копалини складають 15 млрд. т.

Проте промислові (безпосередньо доступні для видобутку діючими шахтами) запаси є значно меншими й оцінюються в межах 600–700 мільйонів тон, чого за поточних темпів виробництва вистачить щонайменше на 30–40 років активної експлуатації. Через поступове вичерпання запасів на старих горизонтах, виробники коригують терміни експлуатації. Наприклад, згідно з офіційною екологічною документацією компанії ДТЕК, повне відпрацювання доступних запасів на окремих блоках ключової шахти «Західно-Донбаська» планується завершити в період з 2029 по 2034 роки.

В зону шкідливого впливу очисних робіт Західного Донбасу потрапляють наступні категорії об'єктів земної поверхні:

- об'єкти забудови: житлові будинки, школи, лікарні, комунікації та приватний сектор, під якими проходять підземні виробки;
- транспортна та промислова інфраструктура: магістраль *Покровськ — Павлоград — Новомосковськ* та внутрішні під'їзні шляхи «Укрзалізниці», траса міжнародного значення М-30 (Стрий — Ізварине) та місцеві автошляхи, магістральні газопроводи, лінії електропередач (ЛЕП) високої напруги, водоводи та кабелі зв'язку;
- водні ресурси та гідрографічна мережа: річки: Самара та її притоки (Тернівка, Вовча, Мала Тернівка, Гніздка), поблизу яких може статися затоплення прилеглих територій;
- земельні угіддя та агрокомплекс: сільськогосподарські поля з родючими ґрунтами, садові товариства та ін.

1.2 Характер і схеми зрушення гірських порід над очисними виробками

Земна поверхня є верхньою частиною товщі гірських порід, які підробляються. Саме на ній можна досліджувати кінцеві результати техногенного впливу гірничих робіт.

Для виявлення закономірностей та розробки методів розрахунку величин зрушень земної поверхні необхідно мати загальне уявлення про характер деформування масиву при розробці вугільних родовищ.

Питання про характер та закономірності зрушення гірських порід розглядалися багатьма дослідниками [1, 4, 34, 38, 39, 42, 43, 48, 65, 69, 74, 84 та ін.]. Накопичено велика кількість даних щодо зрушення гірських порід і земної поверхні, які дозволили виявити в зоні впливу очисної виробки низку зон, що відрізняються за характером та ступенем деформованості.

Професор Козаковський Д. А. при керуванні покрівлею обваленням виділяє три зони (рис. 1.1): обвалення, тріщин та прогину без розриву суцільності.

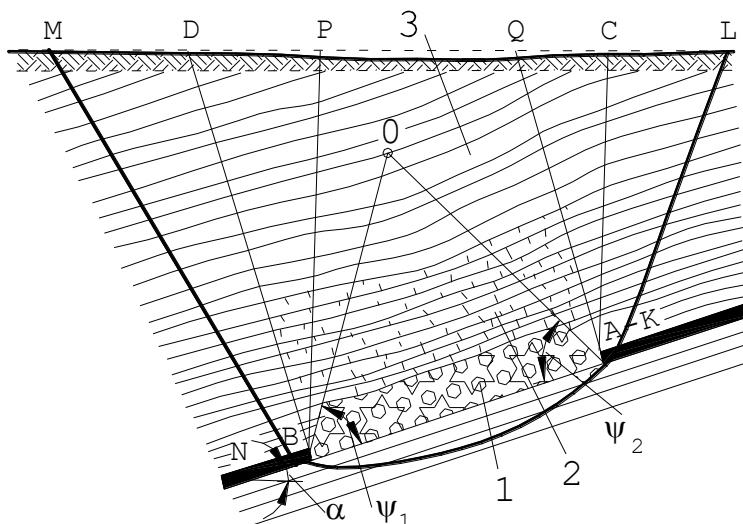


Рис. 1.1 Схема зрушення порід підробленої товщі при пологому заляганні вугільного пласта: 1 – зона безладного обвалення; 2 – зона тріщин; 3 – зона прогину без розриву суцільності; AOB – область повних нормальних зрушень; ψ_1 , ψ_2 – кути повних зрушень; MNKL – область зрушення

Подальші дослідження зрушення підроблюваних і надроблюваних гірських порід показали, що процеси, що протікають в масиві, мають більш складний і різноманітний характер. В результаті були запропоновані інші схеми зрушення гірських порід, що вказують на зміну розмірів зон зрушення по глибині.

Залежно від характеру зрушення та деформування порід у товщі, порушеної впливом очисного виробки, у схемі зрушення, розробленої УкрНДМІ, виділяє такі зони (рис. 1.2): 1 – повних зрушень чи розвантаження; 2 – найбільшого прогину шарів порід; 3 – стиснення або опорного тиску по нормалі до напластування; 4 – стиснення порід у підшві пласта; 5 – нерівномірних піднять у підшві пласта; 6 – розвантаження або рівномірних піднять у підшві пласта; 7 – малих деформацій розтягування та стиску за нормаллю до напластування; 8 – зрушення порід за нормаллю до напластування без деформацій.

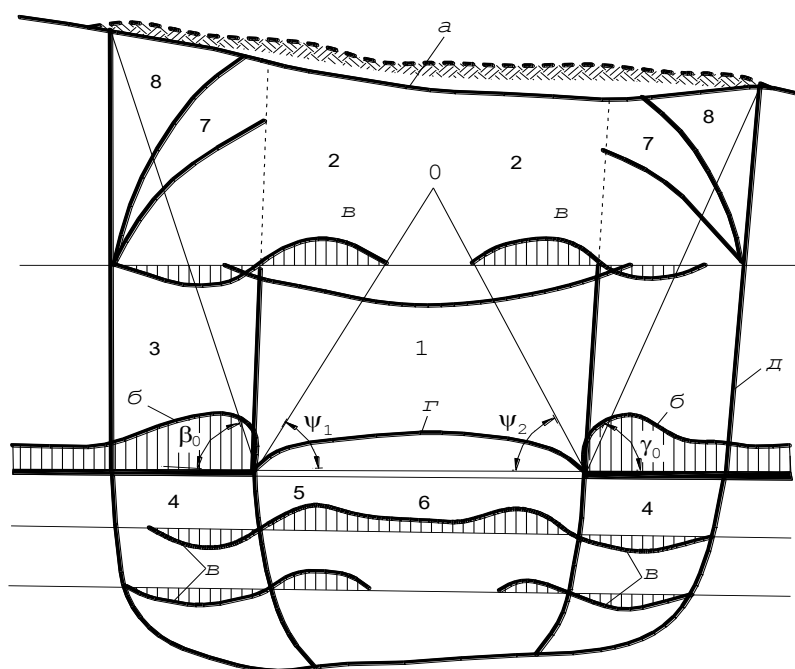


Рис. 1.2. Вплив очисної виробки на товщу порід: а – крива осідання земної поверхні; б – епюри нормальних напружень у зоні опорного тиску; в – графіки деформацій порід по нормалі до пластування; г – границя зони обвалення; д – межа області впливу очисної виробки

Н.М. Зоря та Ф.І. Музафаров [46, 47] запропонували схему, що враховує результати лабораторних та натурних досліджень процесу зрушення та тиску товщі порід (рис. 1.3).

М.А. Йофіс [51, 52] на підставі вивчення та узагальнення питань зрушення гірських порід запропонував виділяти у підробленому породному масиві три області (розвантаження, підвищеного гірського тиску та повних зрушень) та до 16 зон, що відрізняються за характером та ступенем деформування порід.

Наведені схеми характеризують стан підробленої товщі в умовах процесу зрушення, що закінчився, і є концептуальними для більшості методів прогнозування зрушень земної поверхні.

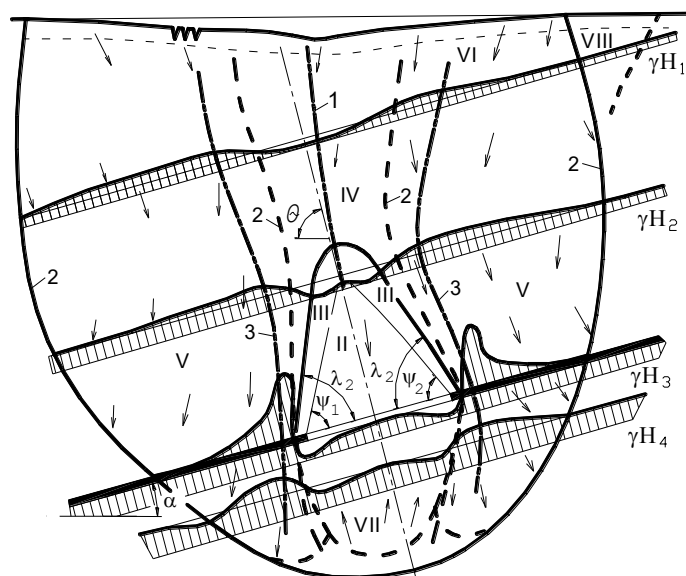


Рис. 1.3. Схема зрушення товщі гірських порід за даними досліджень ДПІ:

1 – лінія максимальних осідань; 2 – границя зони опорного тиску; 3 – лінія максимальних тисків; I – зона обрешених та ущільнених порід; II – зона повних зрушень; III – зона найбільших прогинів шарів з можливим утворенням порожнин та розкритих тріщин; IV – зона плавного прогину без порушення суцільності шарів; V – зона опорних тисків у покрівлі пласта; VII – зона розвантаження

Виходячи з напрямку досліджень, а саме досліджень кутових параметрів зрушення гірських порід та земної поверхні, на схемах рис. 1.1-1.3 особливий інтерес становлять геометричні параметри деформування гірських порід у зонах стиснення, приурочених до зон опорного тиску.

Зони стиснення порід утворюються в результаті прояву підвищеного гірського тиску, який згідно з даними досліджень [5, 12, 17, 30, 38, 42, 44, 64, 74, 91] є основною причиною осідання гірських порід і земної поверхні за межами очисних робіт. Критичні (граничні) значення деформацій, за якими визначаються вихідні кутові параметри, застосовуються для розрахунку зрушень і деформацій гірських порід і земної поверхні.

1.3 Використання кутових параметрів у розрахунках зрушень та деформацій гірських порід та земної поверхні

Схема, запропонована А.Д. Казаковським була прийнята за основу для визначення кутових параметрів зрушення земної поверхні (рис. 1.4). Вона покладена в основу більшості відомих способів розрахунку зрушень та деформацій у мульді зрушення [1, 45, 66, 70, 96, 123]. Ця схема припускає, що кутові параметри зрушення не залежать від глибини гірничих робіт і зони зрушення в масиві залишаються незмінними.

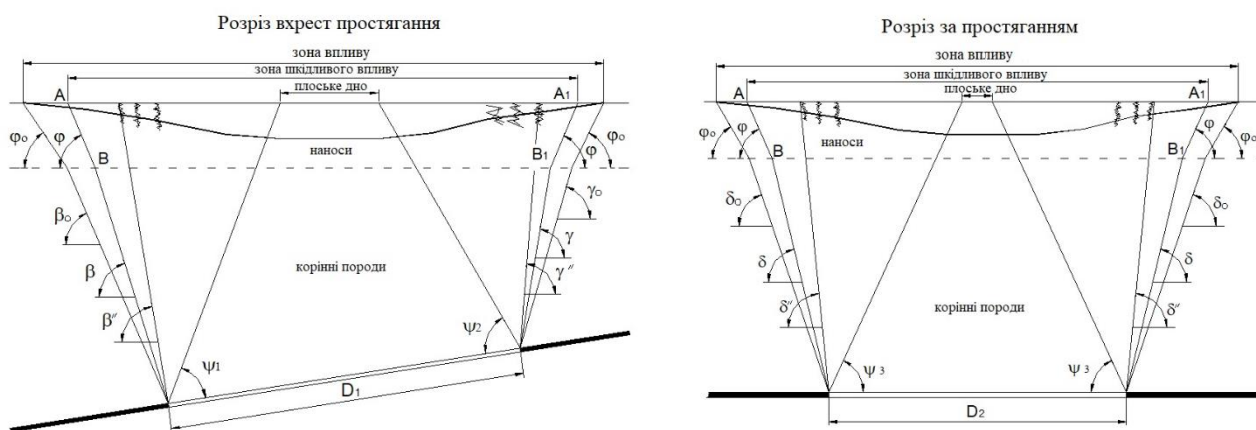


Рис. 1.4 Схема кутових параметрів та зон зрушення земної поверхні при повній підробці

На наведеній схемі показані такі кутові параметри:

граничні кути: у наносах – φ_0 , під якими розуміють четвертинні та третинні горизонтально залягаючі відкладення (приймають однаковими у всіх напрямках); у корінних породах – за простяганням пласта δ_0 , з боку повстання γ_0 , з боку падіння β_0 ;

кути повних зрушень: з боку падіння – ψ_1 , з боку повстання – ψ_2 , за простяганням – ψ_3 , при неповній підробці кут максимального осідання – θ ;

кути зрушення: φ – у наносах (приймають однаковими у всіх напрямках); у корінних породах: за простяганням пласта – δ ; по повстанню – γ ; за падінням – β ;

кути розривів: за простяганням пласта – δ'' ; з боку падіння – β'' ; з боку повстання – пласта γ'' .

Кутові параметри зрушення земної поверхні присутні на всіх відомих схемах зрушення (рис. 1.1-1.3) та є найважливішими характеристиками процесу зрушення. Від точності їх визначення багато в чому залежить правильність вибору заходів охорони об'єктів, що знаходяться в зонах впливу гірничих розробок у гірському масиві і на земній поверхні.

Граничні кути та кути повних зрушень визначають розміри напівмульди, величини та розподіл розрахункових зрушень та деформацій у мульді зрушення. По кутах зрушення, що визначає границю зони небезпечних деформацій, будуються запобіжні цілики під спорудами на земній поверхні. Відповідно, похибки визначення названих кутів можуть призвести до невинуватено завищених втрат вугілля в запобіжних ціликах, або недооцінки шкідливого впливу гірничих розробок на об'єкти, що підробляються.

Згідно [123] граничними приймаються зовнішні щодо виробленого простору кути, утворені на вертикальних розрізах у головних перерізах мульди зрушення горизонтальною лінією і лінією, що з'єднує границі виробленого простору з граничними точками поверхні зрушення. При цьому за границю зони впливу гірничих робіт приймаються точки зі значеннями деформацій земної поверхні, рівними: нахил $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$, розтягнення $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$ [123].

Кут максимального осідання – кут з боку падіння пласта, утворений на вертикальному розрізі в головному перерізу мульди поперек простягання пласта горизонтальною лінією та лінією, що з'єднує середину очисної виробки з точкою максимального осідання за відсутності плоского дна мульди.

Кути повних зрушень – внутрішні щодо виробленого простору кути, утворені на вертикальних розрізах по головним перерізам мульди площиною пласта та лініями, що з'єднують границі очисної виробки з границями плоского дна мульди зрушення на земній поверхні.

Прямо чи опосередковано значення граничних кутових параметрів використовуються при розрахунках зрушень та деформацій земної поверхні. Це впливає з наведеного нижче огляду найбільш відомих способів розрахунку їх очікуваних значень.

Найбільш повно кутові параметри використовуються в методі розрахунку зрушень і деформацій земної поверхні, що отримав найбільше практичне застосування. Він ґрунтується на застосуванні типових кривих. Зокрема, методика розрахунку, викладена в діючих "Правилах підробки..." [123], заснована на залежностях між експериментально встановленими кривими зрушень та деформацій та параметрами підробки (глибина розробки вугільного пласта, його потужність та кут падіння, наявність наносів у товщі та ін.).

Метод типових кривих відрізняється простотою і універсальністю, але виключає можливість оцінити вплив гірничо-геологічних умов розробки вугільних пластів на процес зрушення, що постійно змінюються. В результаті такого підходу результати розрахунку за методикою [123] відрізняються від фактичних параметрів процесу зрушення.

Закономірності та особливості формування мульди зрушення у різних умовах розробки пластів, виявлені натурними маркшейдерськими спостереженнями на вугільних родовищах стали основою для створення аналітичних та аналітико-емпіричних методів розрахунку.

Одним із перших аналітичний опис поверхні мульди зрушення запропонував професор Ф.В. Галахов [36]/[35]. Він виділив у мульді три характерні точки: точка початку мульди, точка максимального осідання та точка перегину кривої осідання.

Проаналізувавши форму поверхні мульди та різні аналітичні криві, Галахов запропонував для розрахунку осідань такий вираз

$$z = h \cdot (1 - x)^4 \cdot e^{4x}, \quad (1.1)$$

де z - Осідання земної поверхні в точці з координатою x (початок відліку в точці з максимальним осіданням); h – максимальне осідання.

С.Г. Авершин розробив метод розрахунку зрушень та деформацій земної поверхні [1], заснований на функції Гауса

$$\eta = q_0 m \cdot \left\{ \Phi \cdot \left(\frac{x+S-\theta(y)}{\sqrt{Ay}} \right) - \Phi \cdot \left(\frac{x-S-\theta(y)}{\sqrt{Ay}} \right) \right\}, \quad (1.2)$$

де S - розміри очисного виробки; x – координата точки з початком координат у точці максимального осідання; θ – кут максимального осідання; $\theta(y)$ – функція абсцис точок кривої найбільших значень η ; $A \approx 2 \left(\frac{S}{Y_0} \right)^2$, Y_0 – ордината земної поверхні; y – відстані за нормаллю до напластування; Φ – функція Гауса.

Р.А. Муллер до розрахунку осідань запропонував таке рішення [100][97]/[98]

$$\eta(x) = -\frac{\eta_0}{2} \left[\Phi \left(\frac{D_p+x}{C_p \cdot H} \right) + \Phi \left(\frac{D_p-x}{C_p \cdot H} \right) \right], \quad (1.3)$$

де C_p – коефіцієнт, що залежить від фізико-механічних властивостей підроблюваної товщі; D – розмір виробки; $D_p = D - a$; a – довжина лави, за якої відбувається посадка основної покрівлі; x – координата точки з початком координат у точці з максимальним осіданням.

Коефіцієнт C_p повинен визначатися із співвідношення коефіцієнтів жорсткості порід на зсув та коефіцієнтів жорсткості на стиск.

С.П. Колбенков та О.М. Павлов у роботі [66] наводять метод розрахунку зрушень за формулою

$$\eta(x) = \frac{1}{2} \eta_0 \Phi \left(\frac{S_2}{cH} \right) \cdot \left[\Phi \left(\frac{S_1+x}{cH} \right) + \Phi \left(\frac{S_1-x}{cH} \right) \right], \quad (1.4)$$

де S_1 та S_2 - Розміри виробленого простору з урахуванням зависання порід; c – коефіцієнт, що визначається з умов рівності розрахункових та фактичних величин максимального нахилу; x – координата точки з початком відліку у точці з максимальним осіданням.

Зависання порід визначається за умови збігу точок перегину розрахункової та фактичної кривих осідання

$$c = \frac{q_0}{A_0 \sqrt{2\pi}}, \quad (1.5.)$$

де A_0 - з результатів натурних спостережень за емпіричною формулою

$$A_0 = i_0 \frac{H}{m}.$$

М.А. Йофіс та В.І. Черняєв описують розподіл осідань у мульдї для умов повного підробки виразом [51, 52]:

$$\eta(x) = \frac{\eta_0}{2} \left[1 + \Phi \left(\frac{x-a}{b} \right) \right], \quad (1.6)$$

де x – абсциса точки з початком координат на перетині земної поверхні та вертикалі, проведеної через кордон очисного виробки; a – відстань від початку координат до точки перегину кривої осідання; b – відстань від точки максимального нахилу до точки максимальної кривизною земної поверхні.

На основі аналізу форми та розмірів мульд зрушення, отриманих у різних умовах Н.М. Єршов для опису процесу зрушення, приймає [37] як функцію осідання вираз:

$$\eta = \frac{\kappa}{\pi c^2 z^2} \exp \left(- \frac{(X-x)^2 + (Y-y)^2}{c^2 z^2} \right), \quad (1.7)$$

де X, Y - Координати точки виробленого простору; x, y – координати точки земної поверхні; δ_0 - коефіцієнт, що враховує ступінь розпушування гірських порід при осіданні; z – глибина розробки; c – коефіцієнт, що залежить від фізико-механічних властивостей гірських порід.

С. Кнотте для розрахунку осідань земної поверхні запропонував формулу:

$$\eta(x) = \eta_m \frac{1}{r} e^{-\frac{\pi}{r^2} x^2}, \quad (1.8)$$

де r – радіус впливу, що визначається з умови рівності розрахункового та отриманого за спостереженнями кута головного впливу (граничного).

У цій формулі розмір виробленого простору взято без урахування зависання гірських порід на контурі очисної виробки.

Для Донецького та Кизеловського басейнів нині застосовується розрахунковий метод, запропонований С.П. Колбенковим [64]:

$$S_{(z)} = n^2 \left(1 - z + \frac{1}{2\pi} \sin 2\pi z \right) + \frac{1-n^2}{4} (1 + \cos \pi z^2), \quad (1.9)$$

де $z = x/L$ – довжина напівмульди, що визначається за граничними кутами; n – коефіцієнт підробленості земної поверхні.

Я.І. Кулібаба [75] для розрахунку осідань при горизонтальному заляганні пласта пропонує таку формулу:

$$\eta(x) = \frac{m}{\pi} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{x-a}{H} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{x+a}{H} \right) \right], \quad (1.10)$$

де a – розмір виробленого простору; x – абсциса точки з початком координат у точці максимального осідання.

В.М. Новокшенов для умов Старобинського родовища калійних солей пропонує [108] розрахувати осідання за формулою:

$$\eta(x) = \eta \left[0,5 \left(\cos \frac{\pi x}{L} + 1 \right) + 0,125 \left(\cos \frac{2\pi x}{L} - 1 \right) - 0,025 \sin \frac{2\pi x}{L} \right]_{max}, \quad (1.11)$$

де x – абсциса точки з початком координат у точці з максимальним осіданням земної поверхні.

У разі Челябінського басейну І.В. Барсуков та А.Д. Голотвин [17] визначають осідання в крайовій частині мульди за емпіричною залежністю:

$$\eta_i = \eta_{ц} \exp(-xb^{-1}), \quad (1.12)$$

де $\eta_{ц}$ – осідання у точках максимальних деформацій розтягування; x – абсциса точки земної поверхні; b – коефіцієнт загасання, що визначається за даними спостережень і рівний $b = 2,25H_{cp}^{1/2}$.

В роботі Морін С.В. [98] в якості зрівнювання розподілу осідань у напівмульді з падіння (повстанням) або простягання пропонує функцію:

$$\eta(x) = \eta_m K_1^{(x/l_1)^{a_1}}, \quad (1.13)$$

де $\kappa_1 = \frac{\eta_1}{\eta_m}$; x – абсциса точки; l_1 – відстань від початку координат до точки з максимальною кривизною земної поверхні; η_1 – осідання у точці з максимальною кривизною; a_1 – параметр, що характеризує умови підробки та зміну кривизни кривої осідання.

А.Г. Акімов та О.М. Давидович [8] на основі аналізу багатьох результатів експериментів встановили залежність, що характеризує розподіл осідань у крайовій частині мульди зрушення

$$\eta(x) = B \left[\left(1 - \frac{x}{l}\right)^7 - 3,5 \left(1 - \frac{x}{l}\right)^5 \right] - i_1 l \left(1 - \frac{x}{l}\right), \quad (1.14)$$

де i_1 – нахил межі мульди зрушення; l – довжина крайової частини мульди; B – коефіцієнт, що залежить від бічного розпору на межі вибою, модуля деформації товщі гірських порід у зоні опорного тиску, максимального осідання в крайовій частини мульди зрушення.

Наведені вище формули використовують геометричні параметри, що визначають положення тих чи інших характерних точок мульди щодо меж виробленого простору. У більшості випадків ці параметри пов'язані з граничними кутами та кутами повних зрушень.

1.4 Граничні кутові параметри зрушення гірських порід та земної поверхні

О.М. Медянцевим доведено [90], що з головних причин недостатньої точності способів розрахунку зрушень і деформацій є прийняті нині критерії визначення границь мульди зрушення ($\varepsilon = i = 0,5 \cdot 10^{-3}$). В умовах пологого залягання пластів і при глибині розробки 200-500м похибка визначення довжини напівмульди на Донбасі становить $\pm 18\%$, що призводить до значних помилок розрахункових величин.

Як зазначається в роботі [103] граничні кути за фізичним змістом повинні бути узагальненими показниками фізико-механічних властивостей всієї товщі гірських порід, що зрушується. На їх величини при одних і тих же геологічних

умовах не повинні впливати потужність пласта, що виймається, глибина його розробки і розміри очисної виробки. Однак дослідження процесу зрушення земної поверхні, що проводилися на вугільних родовищах, вказують, що граничні кути в існуючій їхній інтерпретації залежать від багатьох факторів [61, 68, 92, 94, 102, 109].

У цьому протиріччі закладено джерела похибок, що виникають при визначенні граничних кутів, що у своє чергу є причиною похибок при розрахунках зрушень і деформацій земної поверхні за допомогою граничних кутів.

Граничні кути, що визначаються за прийнятими критеріями є суто умовними технічними поняттями, що не мають певного фізичного сенсу, а значення деформацій, прийняті як критерії для визначення границь зони впливу гірничих розробок на земну поверхню, встановлені виходячи з похибок інструментальних спостережень і приймаються постійними за будь-яких гірничо-геологічних умов розробки [123].

Дослідження граничних кутів та кутів зрушення широко представлені в роботах Казаковського Д.А., Муллера Р.А., Липковича С.М., Шалагінова Н.Ф., Гвірцмана Б.Я., Мурашова А.М., М'якого В.І., Черняєва В.І., О.І. А.Н., Йофіса М.О., Акімова О.Г., Назаренко В.А., Кулібаби С.Б., Кучина О.С. та інших авторів.

Залежність граничних кутів від глибини розробки і потужності пласта, що виймається, встановлена експериментальними і аналітичними дослідженнями. Зокрема, у роботах [26, 37, 43, 81, 94 та ін.] зазначається, що така залежність впливає з способу розрахунку зрушень і деформацій, але на думку авторів, ненадійність результатів розрахунку в крайових частинах мульди не дає можливість використовувати методику [123] для визначення кутових параметрів.

Як зазначив Д.А. Казаковський «збільшення глибини викликає виположування мульди та зменшення деформацій. Тому точки прояву критичних деформацій у міру збільшення глибини розробки переміщуються від краю мульди до точки перегину кривої осідання, що веде до збільшення кутів зрушення».

Вплив глибини розробки на кути зрушення на Донбасі було відображено в Правилах охорони... (недіючий), згідно з якими значення кутів зрушення приймалися залежно від глибини розробки (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Кути зрушення

H / m	δ та γ , град.	β , град.
100 і менше	80	$80 - 0,8\alpha$
200	82	$82 - 0,8\alpha$
300	84	$84 - 0,8\alpha$
400 і більше	85	$85 - 0,8\alpha$

О.М. Медянців та М.А. Йофіс на основі аналізу результатів спостережень [89] на 30 спостережних станціях, закладених в умовах пологого падіння при первинній підробці товщі Донбасу, встановили, що залежність кутів зрушення від глибини розробки H і потужності пласта m , що виймається, має вигляд:

$$\delta = 78^\circ + 0,05^\circ \frac{H}{m}; \quad (1.15)$$

$$\beta = 78^\circ - \alpha + 0,05^\circ \frac{H}{m}. \quad (1.16)$$

Ті ж автори в роботі [90] наводять формулу для визначення граничних кутів δ_0 :

$$\delta_0 = 65^\circ + 1,4^\circ \sqrt{\frac{H}{m}}, \quad (1.17)$$

та відзначають, що середнє квадратичне відхилення обчислених кутів від виміряних становить $\pm 2,2^\circ$.

Така сама залежність наведена у роботі [92], за якою граничні кути при глибинах розробки $H > 200\text{м}$ приймаються рівними:

$$\beta_0 = 75^\circ - 0,8\alpha; \quad (1.18)$$

$$\delta_0 = \gamma_0 = 75^\circ, \quad (1.19)$$

а при $H < 200\text{ м}$:

$$\beta_0 = 80^\circ - 0,8\alpha - \rho \frac{H_0}{H}; \quad (1.20)$$

$$\gamma_0 = 80^\circ - \rho \frac{H_0}{H}, \quad (1.21)$$

де $\rho = 57^\circ$; $H_0 = 20\text{ м}$; α – кут падіння пласта; H – глибина ведення гірничих робіт.

О.М. Мурашов вказує, що граничні кути залежать від кратності підробки H/m [99]:

$$\beta_0 = 45^\circ + 0,0012 \frac{H}{m} \rho, \quad (1.22)$$

де $\rho = 57^\circ$.

За результатами досліджень граничних кутів і кутів зрушення основний фактором, що впливає на величини кутів, вказується кратність підробки H/m . Ця залежність встановлена за результатами натурних інструментальних маркшейдерських спостережень за зрушенням земної поверхні на шахтах Донбасу та ілюструється графіками на рис. 1.5.

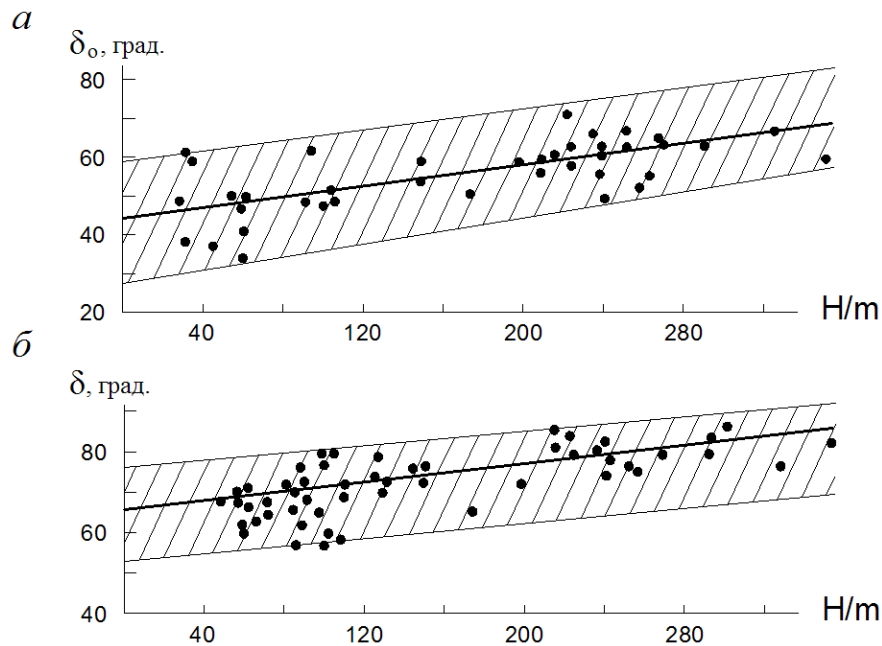


Рис. 1.5 Графіки залежності граничних кутів (а) та кутів зрушення (б) від кратності підробки

Залежність граничних кутів від глибини розробки, встановлена експериментальним шляхом, наводиться у роботі О.М. Медянцева [87]. Для умов Донбасу ця залежність має вигляд

$$\gamma_0 = 80^\circ + c\alpha - \rho \frac{H_0}{H}, \quad (1.23)$$

де c – коефіцієнт, що враховує тимчасовий опір порід на стиск, і приблизно рівний $0,001\sigma_{сер}$; H_0 – гранична глибина гірничих робіт, менша за яку формула неприйнятна.

Дані інструментальних спостережень на вугільних родовищах та результати моделювання дозволили вивести залежність кута δ_0 від фізико-механічних властивостей гірських порід, показником яких є коефіцієнт Пуассона μ :

$$\delta_0 = 90^\circ - \arctg \sqrt{\frac{\mu}{1-\mu}}. \quad (1.24)$$

Наведена залежність дає задовільну збіжність розрахованих та фактичних кутів δ_0 для умов Донецького басейнів.

Вплив міцності порід на граничні кути відзначається у роботі О.Г. Акімова та Х.К. Хакімова [16], де наведена наступна залежність:

$$\beta_0 = (90^\circ - \alpha) - \left(\cos^2 \alpha - \frac{\mu}{1-\mu} \sin^2 \alpha \right) (90^\circ - \delta_0). \quad (1.25)$$

Натурними спостереженнями за зрушенням земної поверхні встановлено зв'язок між основними параметрами зрушення та механічними властивостями порід. На рис. 1.6 показані граничні кути δ_0 при первинній підробці залежно від опору порід на стиснення $\sigma_{сж}$.

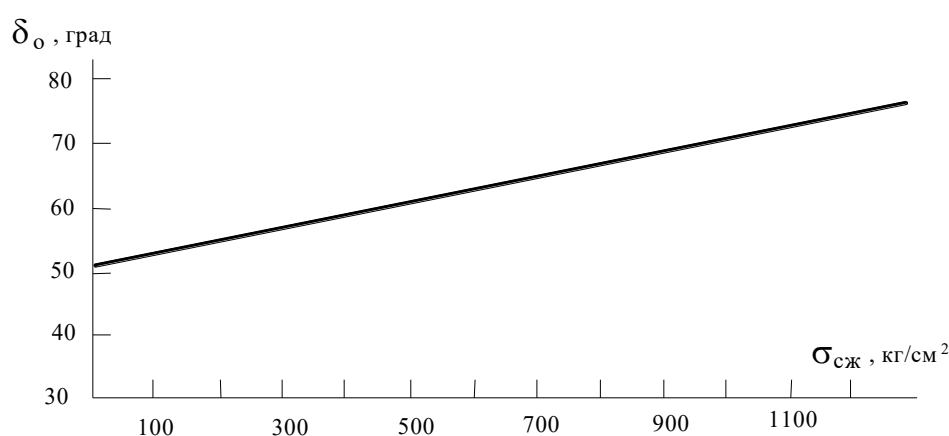


Рис. 1.6 Залежність зміни кута δ_0 від опору порід на стиснення $\sigma_{сж}$

Залежність зміни δ_0 від $\sigma_{сж}$ виражається формулою

$$\delta_0 = 50^\circ + 2^\circ f,$$

де $f = \frac{\sigma_{сж}}{100 \text{ кг/см}^2}$ – коефіцієнт міцності за М.М. Протод'яконовим.

В узагальненому вигляді залежність граничних кутів і кутів зрушення від міцності порід також відображено у чинних “Правилах підробки...” [123]. Якщо ранжувати вугільні родовища України за ступенем метаморфізму порід, що складають вугленосну товщу, то тенденція до зростання кутових параметрів зі збільшенням міцності порід стає очевидною (табл. 1.2).

М.А. Костерін вважає [71,70], що граничний кут є функцією відносних напружень, у зоні опорного тиску і може бути знайдений з виразу:

$$\operatorname{ctg} \delta_0 = a \kappa_0 H \gamma \sigma_0^{-1}, \quad (1.26)$$

де κ_0 і a – коефіцієнти пропорційності; σ_0 – міцність порід на одновісний стиск.

Таблиця 1.2 – Кутові параметри зрушення земної поверхні на вугільних родовищах України

Родовище, марка вугілля	Граничні кути в корінних породах з простягання пласта, δ_0	Кути зрушення в корінних породах простягання пласта, δ
Донбас, марка вугілля А	75	85
Донбас, марки вугілля: Д, ДГ, Г, ГЖ, К, КЗ, КС, ОС, Т, ТЗ	70	80
<i>Західний Донбас</i>	65	75
Львівсько-Волинський басейн	55	75
Дніпровський буровугільний басейн	45	55

Автор доводить, що кут повних зрушень так само є функцією відносних напружень у зоні вигину:

$$\psi_3 = \phi(\kappa_n H \gamma \sigma^{-1}) \quad (1.27)$$

де κ_n – коефіцієнт пропорційності, що характеризує зміну початкових напружень у зоні прогину.

Наведені вище залежності підтверджують висновок О.М. Медянцева [87] у тому, що " ... залежність граничних кутів від глибини ведення гірничих робіт також виражає залежність граничних кутів від властивостей порід. Зі

збільшенням глибини ведення гірничих робіт збільшується ступінь метаморфізму порід і підвищується їх міцність ".

А.Г. Акимов вказує, що на величини кутів зрушення за інших рівних умов суттєво впливають розміри відпрацьованої частини пласта. Таку саму закономірність зазначає і Р.А. Муллер в роботі [97, 98]. Однак автор не дає кількісної оцінки зміни кутів зрушення від ступеня подрібленості земної поверхні.

Дослідження [8,20] О.Г. Акімова та Є.В. Бошенятов показали, що кутові параметри процесу зрушення залежать від того, з якого боку очисної виробки вони визначаються. Зокрема, встановлено, що при підході очисного вибою граничні кути крутіші, ніж при відході його від цілика на 10...15 °; кути повних зрушень при відході крутіше, ніж при підході на ту саму величину.

Такого ж висновку дійшов О.С. Кучин щодо граничних кутів над гірничими роботами шахт у Західному Донбасі [79]. Його дослідження вказують, що граничні кути з боку виїмкових штреків набувають проміжних значень між кутами при відході та підході очисного вибою (табл. 1.3).

Інша особливість граничних кутів, встановлена автором [80], вказує на залежність граничних кутів від глибини розробки: зі зростанням глибини збільшуються значення граничних кутів і кутів повних зрушень.

Таблиця 1.3 – Значення кутових параметрів для шахт Західного Донбасу

Параметр	Напрямок руху лави		
	Вітхід	Прохід	Підхід
<u>Граничні кути δ_0, град.</u> Середнє значення, град.	<u>48-67</u> 57	<u>54-79</u> 65	<u>60-70</u> 66
<u>Кути повних зрушень ψ, град.</u> Середнє значення, град.	<u>48-60</u> 52	<u>46-61</u> 53	<u>40-50</u> 44

У Західному Донбасі кутові параметри досліджувалися цілеспрямовано та комплексно. На етапі освоєння родовища О.В. Онищенко встановив відмінність граничних кутів у наносах та карбоні [109]. Метод, запропонований ним, заснований на вирішенні систем із двох лінійних рівнянь із двома невідомими. Рівняння склалися за результатами спостережень, кожне з окремої профільної лінії реперів, закладених у головному перерізі мульди на земній поверхні.

Аналогічні дослідження виконані В.А. Назаренко [102, 105]. В основу цих досліджень покладено статистичний метод, а саме регресійний аналіз результатів натурних інструментальних маркшейдерських спостережень. Автор також показав, що кути повних зрушень слід розділяти в наносах та карбоні за аналогією з граничними кутами. Слід зазначити, що у своїх дослідженнях Назаренко не використовував загальноприйняті критерії деформацій земної поверхні для визначення границь зони впливу гірничих робіт на земну поверхню, а виходив із загальних закономірностей розподілу осідань у напівмульдах.

В умовах Західного Донбасу він досліджував розвиток процесу зрушення земної поверхні по площі мульди зрушення. Як наслідок ним встановлено, що залежність розподілу осідань і нахилів поверхні від потужності наносів відсутня [106], а як основний чинник, що впливає (на відміну від роботи [107]) відзначається глибина гірничих розробок.

Значні дослідження кутових параметрів на шахтах Західного Донбасу виконані проф. Петруком Є.Г. [112]. За результатами вивчення закономірностей розвитку процесу зрушення у часі Є.Г. Петрук встановив, що характерні точки кривих зрушень та деформацій займають у динамічній мульді певне положення, що характеризується відповідними кутами. Загальна схема їх визначення відображена на рис. 1.7.

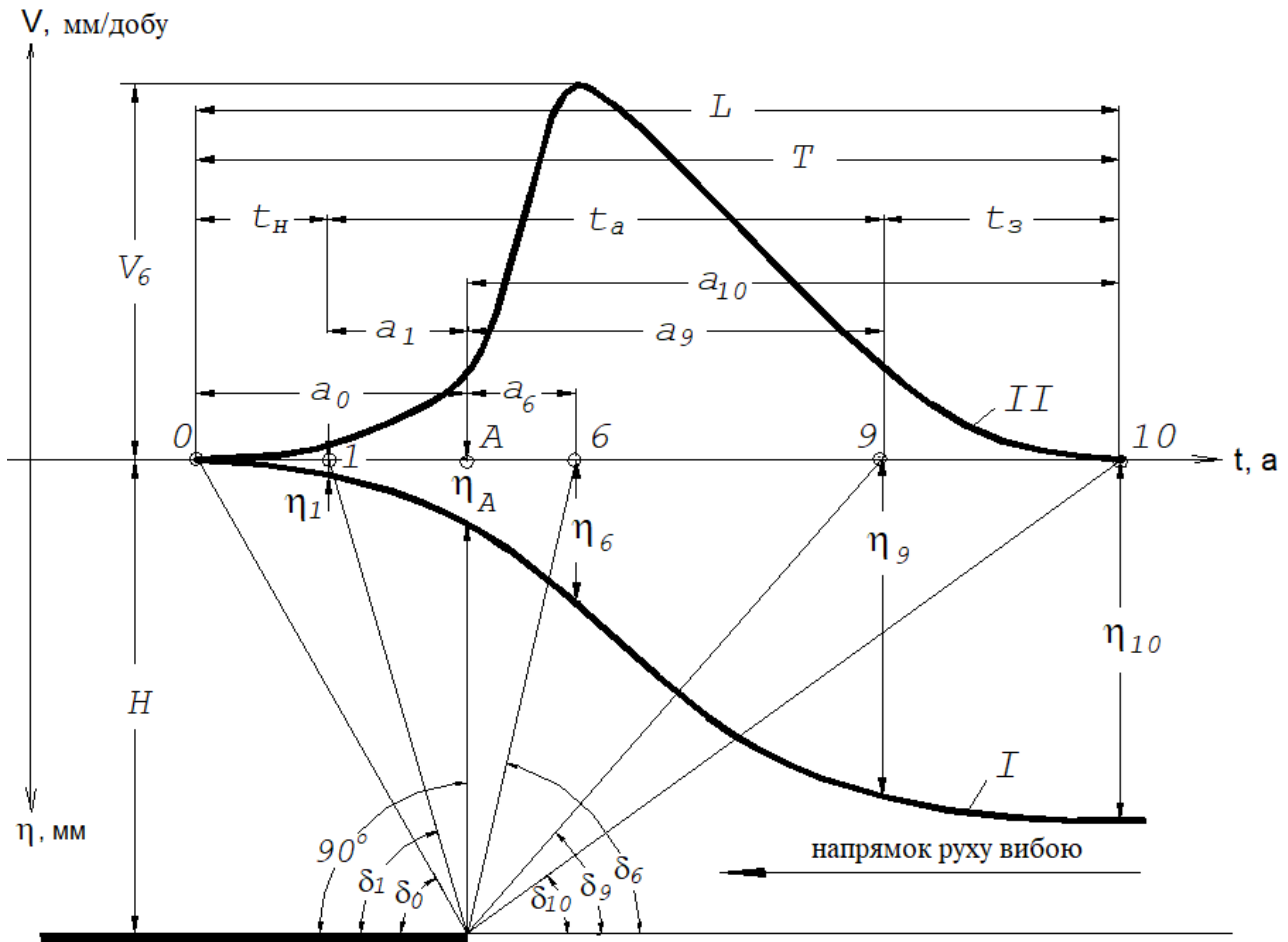


Рис. 1.7 Схема кутових параметрів у напівмульді над вибоєм, що рухається: I – крива осідань; II – крива швидкостей осідань

Як випливає з викладеного, кутові параметри процесу зрушення є функцією багатьох показників і повинні змінюватися зі зміною умов ведення гірничих робіт та властивостей масиву, що підробляється. Використання постійних критеріїв та відсутність надійної методики визначення граничних кутів, кутів зрушення та повних зрушень неминуче призводить до значних похибок прогнозування впливу очисних робіт на земну поверхню та об'єкти, що знаходяться на ній. Цей факт підтверджується даними УкрНДМІ, що є узагальненням безлічі натурних маркшейдерських спостережень (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Похибки визначення кутових параметрів

Помилки визначення, град.	Кутовий параметр					
	m_{β}	m_{γ}	m_{γ}	m_{θ}	$m_{\psi 1}$	$m_{\psi 2,3}$
Максимальна	14-20	25-40	10-15	12	15	16
Середня квадратична	4-8	10-13	4-8	4	7	6

Більшість досліджень та створених на їх підставі методик використовують роздільні кутові параметри в різних породах у відповідності з їх віком: четвертинні, мезозойські та корінні. При цьому не враховуються міцнісні характеристики порід у відповідних літологічних шарах.

Аналіз геологічної будови покриваючих порід на території шахти «Благодатна» та «Героїв Космосу» [77] показав, що близько 25% товщі наносів становлять пісковики. Найбільша потужність покриваючих порід характерна для західної групи шахт. На шахті ім. Героїв Космосу вона досягає 200 м. У таблиці 1.5 наведено загальні показники геологічної будови масиву гірських порід по шахтах «Благодатна» та «Героїв Космосу».

Таблиця 1.5 – Показники геологічної будови масиву гірських

	Показник	Благодатна	Героїв Космосу
Наноси	Середня потужність, м	75	170
	Пісковиків, %	26	22
	Сланців, %	-	35
	Макс. категорія	8	9
	Мін. категорія	0	1
	Сер. зваж. категорія	4.1	4.9
Кар бон	Пісковиків, %	24	15
	Сланців, %	71	83

	Показник	Благодатна	Героїв Космосу
	Макс. категорія	6	8
	Мін. категорія	4	4
	Сер. зваж. категорія	5.6	5.2

Аналіз геологічної будови проводився на шахті «Благодатна» до глибини 400 м (дві свердловини), на шахті «Героїв Космосу» до глибини 500 м (дві свердловини). Результати аналізу (табл. 2.2) свідчать про близькість значень середньозваженої категорії порід за міцністю у наносах та карбоні.

Відсотковий вміст пісковиків (найміцніші породи) знаходиться в межах 20-25%. Подані результати свідчать про недоцільність поділу масиву гірських порід на наноси та карбон при вивченні процесу зрушення в Західному Донбасі.

В наукових працях Петрука Є. Г., Назаренка В.О. та Кучина О.С. розглядаються можливості відходу від традиційних методів розділення кутових параметрів процесу зрушення у підробленій товщі з застосуванням кутів без розподілу на породи карбону та покриваючих порід.

Таким чином, пріоритетною задачею роботи є визначення можливості застосування кутових параметрів процесу зрушення (надалі – *уніфікованих*) єдиних по всій літологічній товщі гірських порід в зоні впливу гірничих розробок.

1.5 Висновки до розділу 1

Процес зрушення земної поверхні досліджувався практично на всіх родовищах, розроблюваних підземним способом. Інтерес дослідників до цієї проблеми пояснюється необхідністю забезпечення безпечної експлуатації споруд та об'єктів, розташованих у зоні впливу підземних розробок. Ці завдання є актуальними і для родовища вугілля в Західному Донбасі, де під різними поверхневими об'єктами залягає близько 200 млн. т. вугілля.

Маркшейдерськими службами шахт та спеціалізованих організацій накопичено великий обсяг інформації про зрушення гірських порід та земної поверхні. Ці знання лягли в основу розроблених схем зрушення гірських порід та численних способів та методик прогнозування впливу очисних робіт на земну поверхню. При всьому різноманітті способів розрахунку зрушень та деформацій земної поверхні, в їх основі лежать геометричні параметри, що визначають положення границь та характерних точок зрушення мульди на земній поверхні.

Особливе місце серед цих параметрів займають граничні кути і кути зрушення, що використовуються для визначення розмірів і положення мульди зрушення на земній поверхні і побудови зон небезпечного впливу гірничих розробок. В силу значимості кутових параметрів їх досліджували багато вчених, які встановили залежність граничних кутів і кутів зрушення від фізико-механічних властивостей порід підроблюваного гірського масиву, глибини розробки, розмірів виробленого простору, напрямку ведення гірничих робіт та ін. Незважаючи на це діюча методика «Правила підробки..» використовує незмінні значення вищезначених кутових параметрів в умовах зміни гірничо-геологічних характеристик в межах видобувного регіону. Дослідники констатують, що цей факт є однією з основних причин недостатньої надійності прогнозування впливу очисних робіт на земну поверхню та об'єкти, що підробляються.

Слід зазначити існуюче протиріччя між результатами досліджень кутових параметрів. Зокрема, для умов Західного Донбасу має місце дві думки: одні дослідники стверджують, що наноси значною мірою впливають на процес зрушення, інші вважають цей вплив незначним.

Зазначені факти не створюють передумов до розробки та створення надійної, об'єктивної методики розрахунку зрушень і деформацій земної поверхні, внаслідок чого не забезпечується безпека експлуатації підроблюваних будівель і споруд, необґрунтовано залишаються в надрах розкриті запаси

вугілля, створюються несприятливі і навіть шкідливі умови для навколишнього середовища.

Необхідно зазначити, що результати багаторічних маркшейдерських інструментальних спостережень за зрушенням земної поверхні в Західному Донбасі не були враховані при створенні діючого нормативного документа, що також стосується кутових параметрів. Це є основною причиною проведення додаткових досліджень достовірності вихідних параметрів, які закладені «Правилами підробки...» для умов Західного Донбасу при наявності в товщі порід потужних четвертинних порід.

Пріоритетним завданням досліджень є визначення можливості застосування кутових параметрів процесу зрушення (надалі – *уніфікованих*) єдиних по всій літологічній товщі гірських порід в зоні впливу гірничих розробок.

РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ КУТОВИХ ПАРАМЕТРІВ ЗРУШЕННЯ ГІРНИЧИХ ПОРІД І ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

2.1 Формування границі мульди зрушення під впливом деформування гірських порід у зоні опорного тиску

Як зазначено в п 1.1, граничні кутові параметри зрушення гірських порід безпосередньо пов'язані з зонами стиснення, що виникають у крайових частинах області впливу очисної виробки в породному масиві, що підробляється. Це підтверджують численні дослідження на поверхні, у гірничих виробках та на моделях з еквівалентних матеріалів [5, 8, 17, 42, 115].

За існуючими уявленнями про процеси, що відбуваються навколо очисної виробки [47, 115], опорний тиск на пласт і породи, що його вміщують виникає в наслідок того, що частина ваги порід, що знаходяться над виробленим простором передається на частину цілику. Під впливом цього тиску відбувається ущільнення вугільного пласта і шарів порід, і навіть видавлювання їх із зони опорного тиску в зону зниженого тиску, обвалення та тріщин. Уточнення вугільного пласта та шарів порід під впливом опорного тиску збільшує зону зрушення в масиві та на земній поверхні.

Характер деформування процесів зрушення гірського масиву при розвитку гірничих робіт розглядається в механіці гірських порід у зв'язку з необхідністю охорони гірничих виробок, для розробки заходів боротьби з гірськими ударами, раптовими викидами вугілля, газу, для вивчення взаємодії кріплення виробок та породного масиву. Основні засади механіки гірських порід розроблені Б.І. Бокієм, М.М. Протод'яконовим, В.Д. Слюсарєвим, Г.М. Кузнецова, К.В. Руппенейт, О.М. Зоріним, Ю.М. Халімендиком та ін. Великий внесок у вирішення питань про механізм перерозподілу напружень та зрушень гірських порід зробив А.А. Борисів. Зокрема, їм запропоновано наступна схема руйнування порід під час руху вибою очисної виробки.

Шари підроблюваної товщі, починаючи від безпосередньої покрівлі до

шарів, що виходять під наноси, залежно від ступеня тріщинуватості деформуються і руйнуються подібно до плит, суцільних або не суцільних, і пачок плит (рис. 2.1, 2.2).

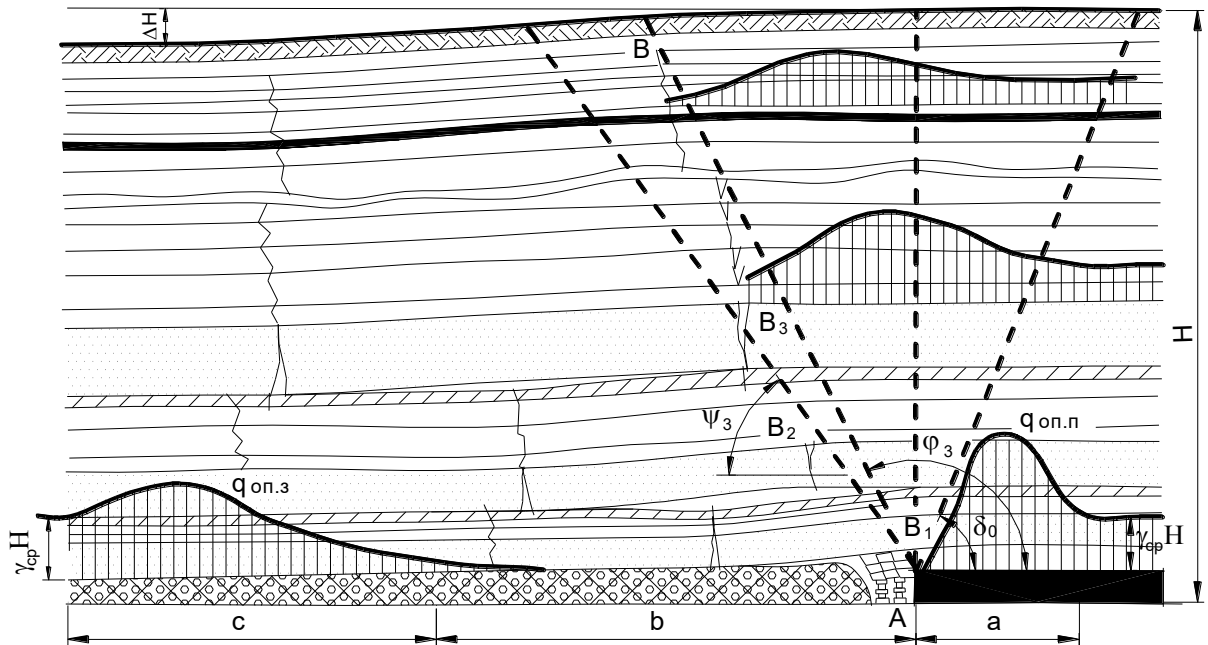


Рис. 2.1 Характер руйнування порід покривної товщі в режимі руху, що встановився (розріз по простяганню): a – передня зона опорного тиску; b – зона розвантаження; c – задня зона опорного тиску

Деформації руйнування починаються від безпосередньої покрівлі та поширюються знизу вгору. Найнижчі шари безпосередньої покрівлі при руйнуванні сильно розпушуються, тому величина опускання основної покрівлі і всієї підроблюваної товщі, зазвичай буває менша за потужність пласта, що видобувається. При збільшенні площі оголення покрівлі відбувається розшарування порід на окремі шари та пачки, в основі яких залягають досить потужні, міцні та жорсткі шари порід.

Такі пачки породних шарів деформуються і руйнуються самостійно, мають границі прогинів і кроки обвалення. Отже, розшарування є однією з найбільш характерних особливостей спільної дії деформацій і руйнувань товщі

твердих шаруватих порід і є однією з найважливіших закономірностей.

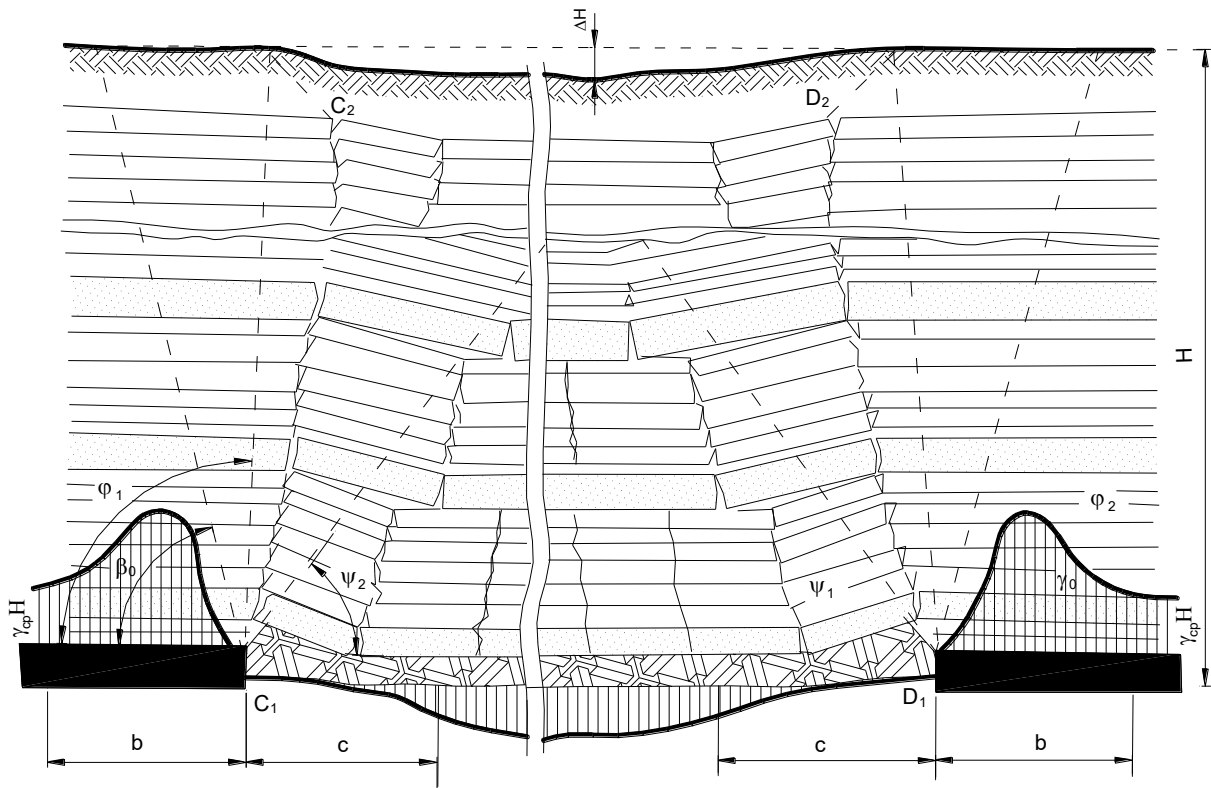


Рис. 2.2 Характер руйнування порід товщі в режимі сталого руху очисного вибою

У тих пачках шарів, у яких сили зв'язку по контактам поверхонь досить великі, розшарування не відбувається. Такі пачки працюють як єдина плита.

Зазвичай при першому обваленні основної покрівлі обвалюється і частина товщі, що її покриває. Інша частина покриваючої товщі залежно від її складу обрушується при подальшому руху лави однією або декількома пачками або окремими шарами.

По всьому контуру виробленого простору створюється опорний тиск, який передається в напрямку знизу вгору, від шару до шару. Він викликає деформації приконтурної частини пласта, що розробляється, і в кінцевому результаті передається на породи підшви вугільного пласта.

В режимі сталого зрушення деформації і руйнування шарів товщі (рис. 2.1, 2.2) також поширюються в напрямку знизу вгору. Спочатку руйнуються породи безпосередньої покрівлі (в результаті її посадки), а потім, з розвитком виїмки, через кілька кроків обвалення безпосередньої покрівлі відбувається чергове обвалення основної покрівлі разом з частиною порід її товщі. Решта порід товщі покрівлі пласта обрушується через деякий час окремими пачками і шарами з відомим відставанням один від одного. Опорний тиск може призводити до руйнувань (роздавлювань) крайової зони виробки, поширюватися на породи підосви на досить велику глибину – до 70 м і більше, залежно від ряду факторів. У цьому процесі зрушення також спостерігається розшарування порід, яке може відбуватися у безпосередній покрівлі, між безпосередньою та основною покрівлею та у породах покриває товщі. Місця розшарування на контактах літологічних породних шарів визначаються в залежності від їх геологічних та фізико-механічних характеристик.

При великій довжині лави і стовпа процеси зрушення порід покриваючої товщі гірських порід доходять до земної поверхні. При невеликій довжині лави обвалення не доходять до поверхні, вони припиняються біля шару породи, що мають достатню потужність і міцність, щоб протистояти обваленню при даній площі виробленого простору.

Взагалі підроблювана товща поділяється за характером зрушень та деформацій породного масиву на три зони:

– зона руйнівного впливу. У цій зоні породи зазнають інтенсивної підробки, пласти та виробки, що потрапляють до неї, руйнуються.

– зона розломів. У цій зоні породи зазнають періодичних розломів і переміщуються впорядковано;

– зона вигину. Ця зона не суцільна: всередині неї є розшарування.

Зона вигину утворюється при невеликій довжині очисних виробок. При великій довжині лав зона розломів навіть за значної глибини ведення робіт зазвичай не досягає земної поверхні.

Величина максимальних вертикальних переміщень (зрушень) земної поверхні ΔH залежить від ряду факторів, основними з яких є: потужність пласта, потужність і властивості порід безпосередньої покрівлі, глибина робіт, фізико-механічні характеристики порід, крок посадки покрівлі, кут падіння та ін.

У поперечному розрізі (рис. 2.2) досить чітко виділяються поверхні обвалення C_1C_2 та D_1D_2 , які розмежовують зруйновані та не зруйновані породи. Ці поверхні у поперечному перерізі не є площинами. Кути розломів чи обвалів окремих пачок коливаються від 45° до 80° . У поздовжньому розрізі (рис. 2.1) поверхні обвалів навіть при зупиненому вибою мають ще складніший характер – $AB_1B_2B_3B$. Їх форма крім зазначених факторів залежить також від величини зависань порід і при просуванні вибою в різні моменти різна.

У цілому нині характер цих поверхонь залежить від чергування шарів порід, їх потужності, властивостей тощо і у конкретних умовах змінюється дуже сильно. Ці поверхні неможливо апроксимувати прямими лініями.

Необхідно звернути увагу на неприпустимість співставлення кутів нахилу цих поверхонь розломів (обвалень) з граничними кутами, що приймаються для вирішення завдань зрушення гірських порід.

Зони перегинів можуть утворюватися лише у окремих випадках, коли виникають зони вигину. У найпоширеніших випадках зони розломів досягають земної поверхні, але вони маскуються пухкими наносами і помилково приймаються за зони перегинів.

Прояв опорного тиску в площині розроблюваного пологого пласта в режимі руху порід основної покрівлі може бути охарактеризовано наступним чином [1]. У розподілі опорного тиску навколо окремої очисної виробки виділяється ряд просторових зон. За орієнтуванням щодо вибою (рис. 2.3): *I* – передня, *II* – задня, *III* – бічні (по падінню та повстанню). За характером зміни опорного тиску: *a* – динамічних проявів опорного тиску; *b* – згасання динамічних проявів опорного тиску; *c* – статичного чи псевдостатичного стану опорного тиску.

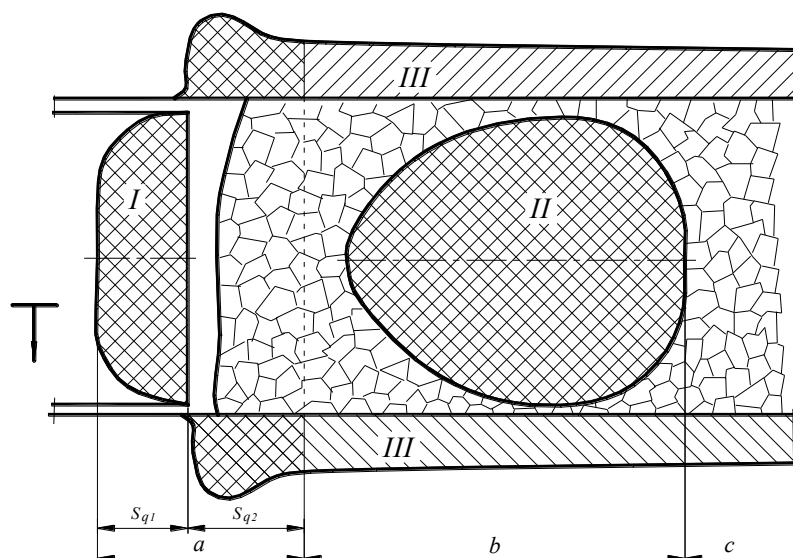


Рис. 2.3 Загальний характер розподілу опорного тиску у площині пологого пласта

Просування очисного вибою викликає переміщення та зміни всіх зон опорного тиску як попереду, так і позаду нього. Конкретний розподіл зон і стан гірського тиску в них не стабільний та залежить від ряду факторів: глибини робіт, процесів деформацій і руйнувань не тільки в безпосередній та основній покрівлі, а й усієї товщі, властивостей вугільного пласта, порід ґрунту та ін.

Досвід вивчення зрушення земної поверхні на вугільних родовищах показує, що описані вище закономірності деформування гірських порід, що підробляються, виявляються і на земній поверхні. Зокрема, розподіл вертикальних і горизонтальних деформацій земної поверхні в мульдї дуже схожі із загальною картиною розподілу опорного тиску в площині пологого пласта, що розробляється. При цьому передня та бічні зони опорного тиску відповідають зовнішній ділянці мульдї, а задня зона опорного тиску визначає плоске дно мульдї (за умови повної підробки земної поверхні).

Гіпотеза виникнення осідань попереду забою, тобто у крайовій частини мульдї зрушення, внаслідок деформацій вугільного пласта і порід, що вміщують його під дією опорного тиску, вперше була майже одночасно висунута Г.Л. Фісенко та Ф. Хельвігом, однак свій подальший розвиток

отримала у ВНІМІ (О.Г. Акімов).

Існування взаємозв'язку між осіданнями покрівлі вугільного пласта та земної поверхні припустив В.М. Земісєв [42]. Їм встановлений вид цієї залежності, згідно з якою (рис. 2.4), осідання вугільного пласта не перевищує і приблизно дорівнює половині осідання відповідних точок земної поверхні.

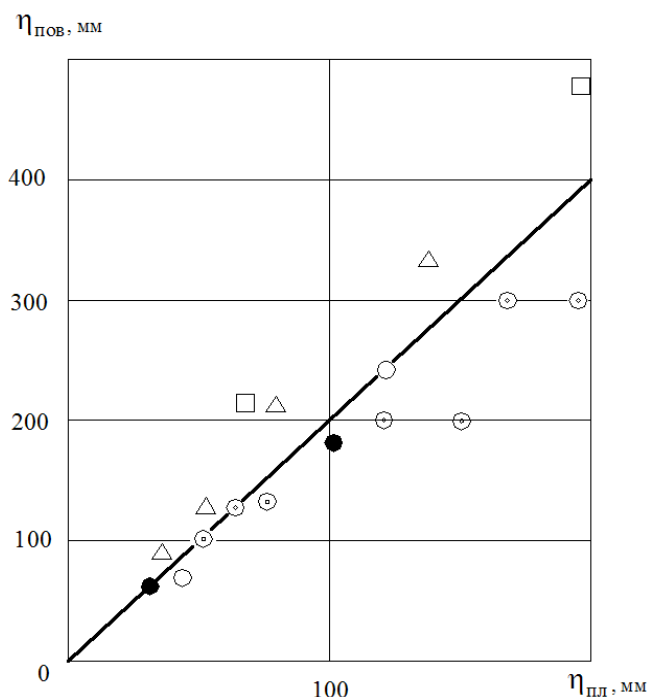


Рис. 2.4 Залежність величини осідання покрівлі вугільного пласта в зоні опорного тиску від осідання земної поверхні

На уявленні про зв'язок осідань у крайовій частині мульди зрушення з деформаціями гірських порід у зоні опорного тиску засновано розв'язання задач з визначення компонентів напружень, деформацій та переміщень у області, що розглядається в [115, 116]. Схема розподілу напружень, деформацій та зрушень у зоні опорного тиску, покладена в основу деяких способів розрахунку [6], наведена на рис. 2.5.

Ширина OG області $OABГ$ дорівнює розміру крайової частини зрушення мульди, тобто. твору глибини розробки H та $ctg\delta_0$. Кут δ_0 – кут, що визначає границю мульди зрушення. Такий підхід до визначення границі зони опорного тиску (точка Γ) та її максимального розміру простягання обґрунтований

теоретично та експериментально.

Питання, пов'язані з виникненням і проявом опорного тиску, а також з деформуванням гірських порід у цих зонах розглянуті в багатьох роботах. Зокрема встановлено [3, 33, 94], що ширина зони опорного тиску швидко збільшується із глибиною розробки.

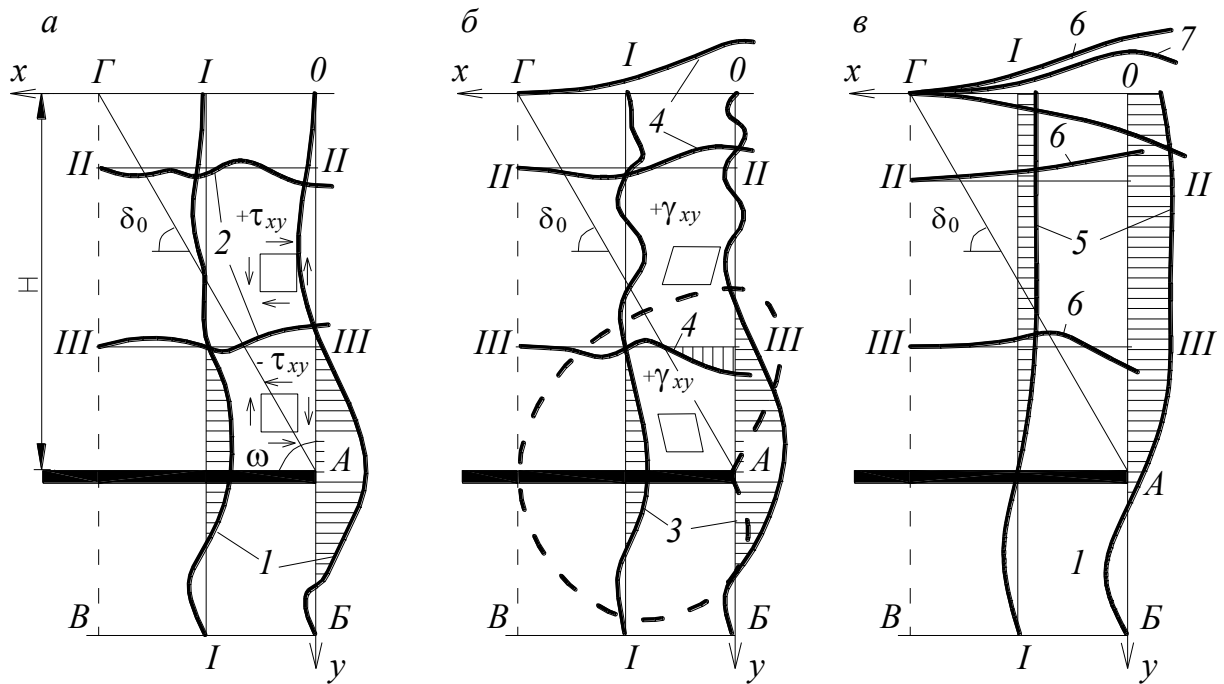


Рис. 2.5 Схеми розподілу напружень (а), деформацій (б) та зрушень (в) у зоні опорного тиску: 1,2 – графік напружень σ_x , σ_y ; 3,4 – графік деформацій ε_x , ε_y ; 5 – графік осідань η ; 6 – графік горизонтальних зрушень ξ_x ; 7 – кривизни

Дослідженнями УкрНДМІ (ВНІМІ) [19, 24] встановлено, що на формування зон прояву гірського тиску вирішальне значення надають глибина розробки та міцність оточуючих виробку порід. На рис. 2.6 наведено графіки встановленої авторами залежності довжини зони прояви опорного тиску L_0 від глибини розробки H і границі міцності порід на стиск на контурі виробки.

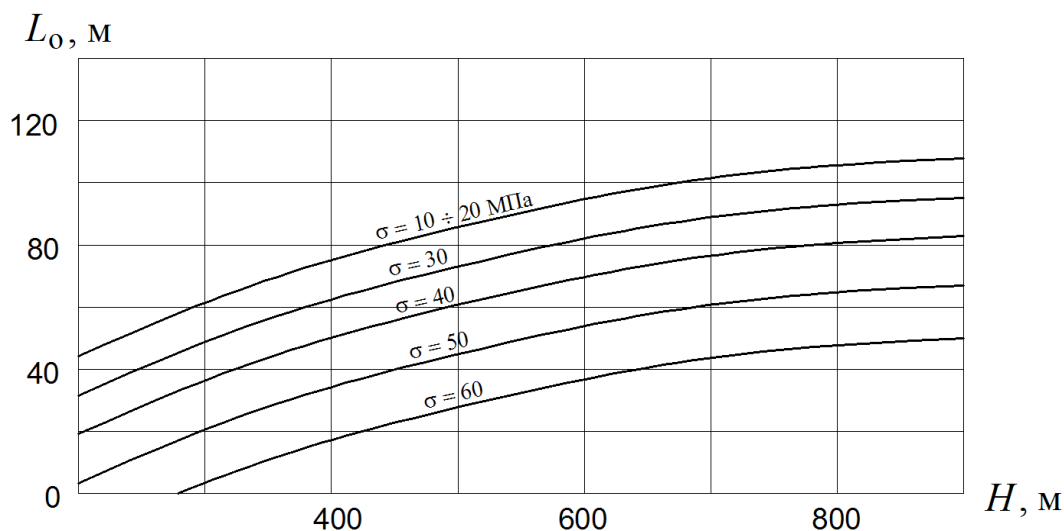


Рис. 2.6. Графіки залежності розмірів зони опорного тиску від глибини розробки та межі міцності порід на стиск (УкрНІМІ)

Розміри зони опорного тиску є основним параметром, що використовується під час розрахунків напружено-деформованого стану породного масиву. У визначенні цього параметра спеціалісти не мають єдиної думки. В даний час для визначення ширини зони опорного тиску найбільше застосування отримала залежність, яка використовується при визначенні зон підвищеного гірського тиску та захищених зон при розробці вугільних пластів у породах, небезпечних по раптовим викидам та гірським ударам [118, 123]. Ця залежність ілюструється графіком, наведеним на рис. 2.7.

У той же час дослідження прояву гірського тиску у виробках і на моделях [11, 42, 43, 94, 130] показали, зміна потужності пласта, що виймається, незначно впливає на зміну протяжності зони опорного тиску. Вважають, що непрямим показником деформаційних властивостей зв'язкових гірських порід може бути граничний кут δ_0 , а ширина зони небезпечного впливу опорного тиску лише на рівні розроблюваного пласта визначається за формулою:

$$L_0 = H \operatorname{ctg} \delta_0. \quad (2.1)$$

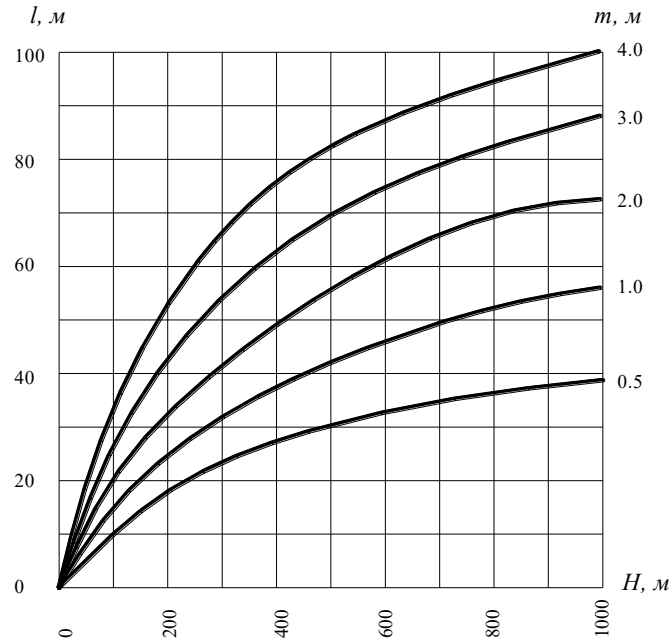


Рис. 2.7. Графік для визначення ширини зони опорного тиску l в залежності від глибини H і потужності пласта, що виймається m

Проте, як свідчить В.М. Земісєв [43], ця залежність справедлива для глибин $H < 200$ м. При глибині розробки пластів $H > (200 \dots 300)$ м розмір зони опорного тиску, що визначається за критерієм $0,5 \cdot 10^{-3}$ стає менше величини $H \text{ctg} \delta_0$. Так, наприклад, при куті $\delta_0 = 55^\circ$ розмір зони опорного тиску в пласті, що визначається для умов Донбасу відповідно до [30], знаходиться з таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Залежність ширини зони опорного тиску від глибини розробки

Глибина H , м	100	200	300	400	500	600	700	800
Розмір зони опорного тиску L_0 , м	70	130	165	200	230	240	255	270

В аналітичному вигляді наведена залежність описується формулою

$$L_0 = H \cdot E \text{ctg} \delta_0, \quad (2.2)$$

де E – коефіцієнт, що залежить від глибини розробки та визначається з табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнту E

Глибина H , м	100	200	300	400	500	600	700	800
E	1,00	0,93	0,79	0,71	0,64	0,57	0,52	0,48

М.П. Зборщик при дослідженнях прояву гірського тиску в розвантажувальних лавах [39,40] встановив таку залежність до розрахунку довжини зони опорного тиску:

$$L_0 = 0,1H - 20. \quad (2.3)$$

На думку автора ця залежність є прийнятною для наступних умов: глибина розробки $H=350\dots 1000$ м, довжина лави $160\dots 250$ м, потужність пласта $m = 1,3\dots 1,6$ м, кут падіння пласта до 20° . Міцність порід на стиск $20-30$ МПа.

Наведені вище результати досліджень зон опорного тиску вказують на залежність ширини цієї зони від глибини розробки вугільного пласта, його потужності, міцності властивостей пласта і порід покриваючої товщі. Як узагальнений показник, що характеризує протяжність зони опорного тиску, практично всіма дослідниками вказується граничний кут простягання δ_0 і цьому є відповідні експериментальні підтвердження.

Логічно зробити зворотне припущення, а саме: розміри зони опорного тиску визначають величину кута, що визначає на земній поверхні границю впливу очисної виробки:

$$\delta_0 = f(L_0). \quad (2.4)$$

Звідси випливає, що величина граничного кута δ_0 залежить від глибини розробки, потужності пласта, що виймається, і міцнісна характеристика порід підроблюваної товщі.

$$\delta_0 = f(H; m; \sigma). \quad (2.5)$$

Цей висновок підтверджується результатами досліджень граничних кутових параметрів процесу зрушення, наведеними в розділі 1. Розглянемо вплив гірничо-геометричних параметрів розробки вугільних пластів на зрушення гірських порід та земної поверхні.

2.2 Гірничо-геометричні та геомеханічні параметри, що впливають на процес зрушення гірських порід та земної поверхні

Існує безліч факторів, що надають помітний вплив на характер процесу зрушення гірських порід та земної поверхні та величини зрушень та деформацій у зоні впливу очисних робіт. Основними є такі:

Потужність пласта (покладу), що виймається, і спосіб управління гірським тиском відносяться до основних факторів, що визначають висоту поширення зон зрушення та деформації гірських порід і земної поверхні, оскільки за допомогою цих факторів регулюють осадку покрівлі. Встановлено, що максимальні значення осідань, деформацій і швидкостей зрушення знаходяться у прямій пропорційній залежності від потужності пласта (покладу), що виймається. Кутові параметри, за винятком кутів зрушення, від потужності практично не залежать. При збільшенні виїмкової потужності кути зрушення дещо виположуються.

Родовище вугілля в Західному Донбасі представлено пластами малої потужності і в переважній більшості випадків потужність, що виймається, в лавах становить 1,00-1,20 м. З урахуванням цього факту і вищесказаного є можливим не враховувати величину виїманні потужності при дослідженнях кутових параметрів процесу зрушення.

Розміри виробленого простору надають (до певної межі) істотний вплив на осідання та абсолютні зрушення та меншою мірою – на відносні деформації. В умовах повної підробки зміна розмірів виробленого простору не впливає ні на

значення зрушень та деформацій, ні на характер процесу зрушення. Істотного впливу розмірів виробленого простору на кутові параметри процесу зрушення не помічено.

Незважаючи на це, бажано дослідити кутові параметри, отримані при повній підробці земної поверхні. Цим принципом слід дотримуватися при виборі результатів натурних інструментальних спостережень за зрушенням земної поверхні для подальшого аналізу та вивчення кутових параметрів.

Цілики у виробленому просторі помітно впливають на розподіл деформацій у мульді зрушення. При вдалому співвідношенні розмірів ціликів і виробленого простору деформації гірських порід можуть проявитися на земній поверхні, і навпаки, при невдалому співвідношенні над ціликами відбувається концентрація деформацій. Висновок – для аналізу слід приймати випадки підробки без залишення ціликів у виробленому просторі.

Швидкість просування очисної вибою значною мірою визначає тривалість та інтенсивність процесу зрушення. Змінюючи швидкість просування, можна регулювати терміни і тривалість окремих стадій процесу зрушення, що важливо при підробці об'єктів, в експлуатації яких є перерви.

У нашому випадку розглядаються результати маркшейдерських спостережень при процесі зрушення, що закінчився. Тому швидкість руху очисного вибою на очікувані результати досліджень кутових параметрів не впливає.

Порядок ведення гірничих робіт та взаємне розташування виробок суттєво впливає на параметри та характер процесу зрушення. Перша очисна виробка змінює напружений стан товщі гірських порід, викликає утворення в ній зон підвищеного і зниженого тиску, тріщин і порожнин розшарування. Залежно від того, в які зони потрапляють наступні очисні виробки, кутові параметри можуть бути крутішими або пологими, значення деформацій більше або менше звичайних і т. д. При розташуванні границь виробок у світлі пластів приблизно в одній вертикальній площині границі мульди зрушення виходять

найбільш крутими з максимальним розвитком деформацій. При певному взаємному розташуванні очисних виробок на окремих ділянках може відбуватися компенсація розтягувань, викликаних однією виробкою, стисненням від іншого, кривизни опуклості – кривизною увігнутості, позитивного нахилу – негативним тощо.

Через складність перебігу процесу зрушення при відпрацюванні суміжних лав і процесів активізації зрушення гірських порід слід вибирати для аналізу випадки підробки земної поверхні одиночними лавами або спареними лавами, у яких відставання одного вибою по відношенню до іншого незначне.

Згідно з "Правилами підробки..." [123] порядок ведення гірничих робіт і взаємне розташування виробок не впливають у разі відпрацювання відокремлених лав або суміжних лав, відпрацювання яких ведеться з розривом у часі, що не перевищує період активної стадії процесу зрушення, а розмір цілика між ними менше 10% від глибини. Але ця умова справедлива для процесу зрушення, що закінчився. Дослідження, проведені в Західному Донбасі [105], для умов розробки спарених лав показали, що у разі відпрацювання суміжних лав за умови $d_3 < \Delta < L_1 + d_3$ (рис. 2.8) вертикальні зрушення та деформації від обох лав не складаються, а відбувається плавний перехід від ізоліній поверхні мульди від однієї лави до іншої.

У цьому випадку мульда зрушення формується як від однієї очисної виробки, що має розмір D'_2 , що дорівнює сумарній довжині обох лав ($D_1 + D_2$).

Розрив у часі між відпрацюванням пластів визначає інтенсивність процесу зрушення: чим менший цей розрив, тим більш бурхливо протікає процес.

Вплив розриву в часі між відпрацюванням пластів і ціликів у виробленому просторі може бути виключено, якщо задатись умовами первинної підробки земної поверхні одним пластом та розглядати результати спостережень за зрушенням поверхні над виробками, які відпрацьовувалися без залишення ціликів.

горизонтальним і не враховувати їх нахил щодо кутових параметрів процесу зрушення.

Механічні властивості та структурні особливості гірських порід впливають на всі параметри та показники процесу зрушення. Найбільш тісна залежність від цього фактору простежується у значеннях кутів зрушення δ отриманих при різних властивостях гірських порід. З зазначеної залежності проф. Д. А. Казаковський склав класифікацію родовищ, використовуючи міцнісні властивості порід як одну з визначальних ознак. На цьому принципі побудовані "Правилами підробки..." [123].

Механічні властивості і структурні особливості гірських порід впливають як на процеси, що відбуваються в масиві, що підробляється, так і на земній поверхні. Цей факт особливо яскраво проявляється за наявності в слабких породах міцних шарів – "порід мостів", які впливають на перерозподіл гірського тиску в масиві, змінюють значення кутових параметрів зрушення мульди.

Кам'яновугільні відкладення Західного Донбасу покриті товщею мезозойських та кайнозойських порід і ніде не виходять на земну поверхню. Потужність покриваючих порід непостійна і коливається у значних межах – від 50 м до 250 м, збільшуючись з півдня на північ.

Випробування фізико-механічних властивостей порід Західного Донбасу у великому обсязі (470 проб) було проведено трестом Дніпрогеології (Павлоградська ГРП) у 70-х роках. Породи випробовувалися на тимчасовий опір стиску, вологість, пористість, об'ємну та питому вагу. На рис. 2.9 наведено зведений графік залежності межі міцності на стиск $\sigma_{сж}$ для пісковиків, аргілітів і алевролітів від глибини (точками на графіці показані середні $\sigma_{сж}$ за пробами, взятими на даній глибині; цифри при точках позначають кількість проб). Для Західного Донбасу характерна лінійна залежність $\sigma_{сж}$ від глибини.

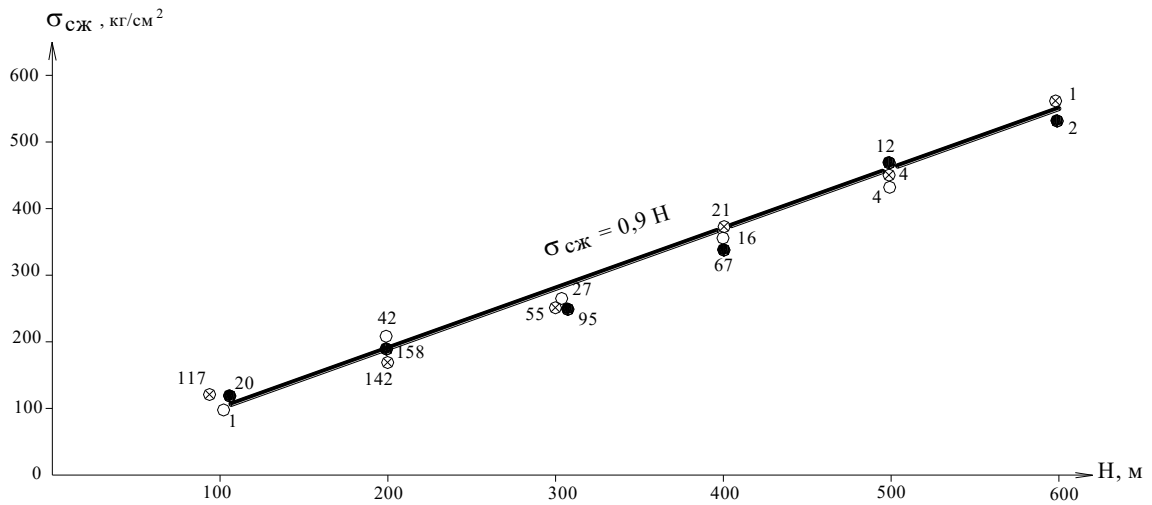


Рис. 2.9. Тимчасовий опір на стиснення порід Західного Донбасу

Усереднені характеристики властивостей порід наносів, вугілля та порід, що вміщують товщу покрівлі пласта, наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Фізико-механічні властивості порід

Порода	Фізико-механічні характеристики		
	$\sigma_{сж}$, МПа	γ , т/м ³	E, МПа $\times 10^3$
аргіліт	20	2,65	2,8
алевроліт	30	3,0	2,9
пісковик	50	3,1	2,8
вапняк	155	2,84	4,2
наноси	0,6	1,5	1,7
вугілля	35	1,47	2

Наведені дані дозволяють зробити висновки про те, що при дослідженні процесу зрушення в Західному Донбасі механічні і структурні особливості різних шарів корінних гірських порід можуть не враховуватися.

Однак цей висновок не поширюється на вплив четвертинних порід, що

становлять наноси. Вони мають значно менші характеристики міцності, значну потужність і, як встановлено дослідженнями [31, 71, 114] впливають на кутові параметри зрушення земної поверхні, а, отже, і на розподіл зрушень і деформацій в мульді. Слід визначити, що для умов Західного Донбасу пісковики та вапняки зустрічаються в четвертинних відкладення і мають значну міцність.

Глибина гірничих робіт істотно впливає на деформації земної поверхні, характер і ступінь прояву гірського тиску в товщі. Зі збільшенням глибини розробки всі види деформацій земної поверхні зменшуються. Особливо чутлива до цього фактору кривизна згладженої мульди зрушення: вона обернено пропорційна квадрату глибини розробки. Гірський тиск, навпаки, зі збільшенням глибини розробки підвищується, концентрація деформацій та напружень на окремих ділянках стає небезпечнішою.

З рис. 2.10 видно, що при повній підробці земної поверхні довжини напівмульд L_3 залежать від кутів δ_0 та ψ_3 .

Якщо прийняти величину $(ctg\delta_0 + ctg\psi_3)$ постійною, тоді очевидно, що довжина напівмульди L прямопропорційна глибині розробки H .

Істотний вплив на характер деформацій земної поверхні мають тектонічні порушення.

Порушене залягання порід, що підробляються, значною мірою впливає на параметри зрушення земної поверхні. Величини зрушень та деформацій поверхні, їх розподіл у мульді, залежать від параметрів розривних та складчастих порушень масиву. Врахувати ці залежності дуже складно і часом неможливо. У зв'язку з цим із аналізу слід виключити випадки підробки земної поверхні, коли в зону впливу очисної виробки потрапляє тектонічне порушення

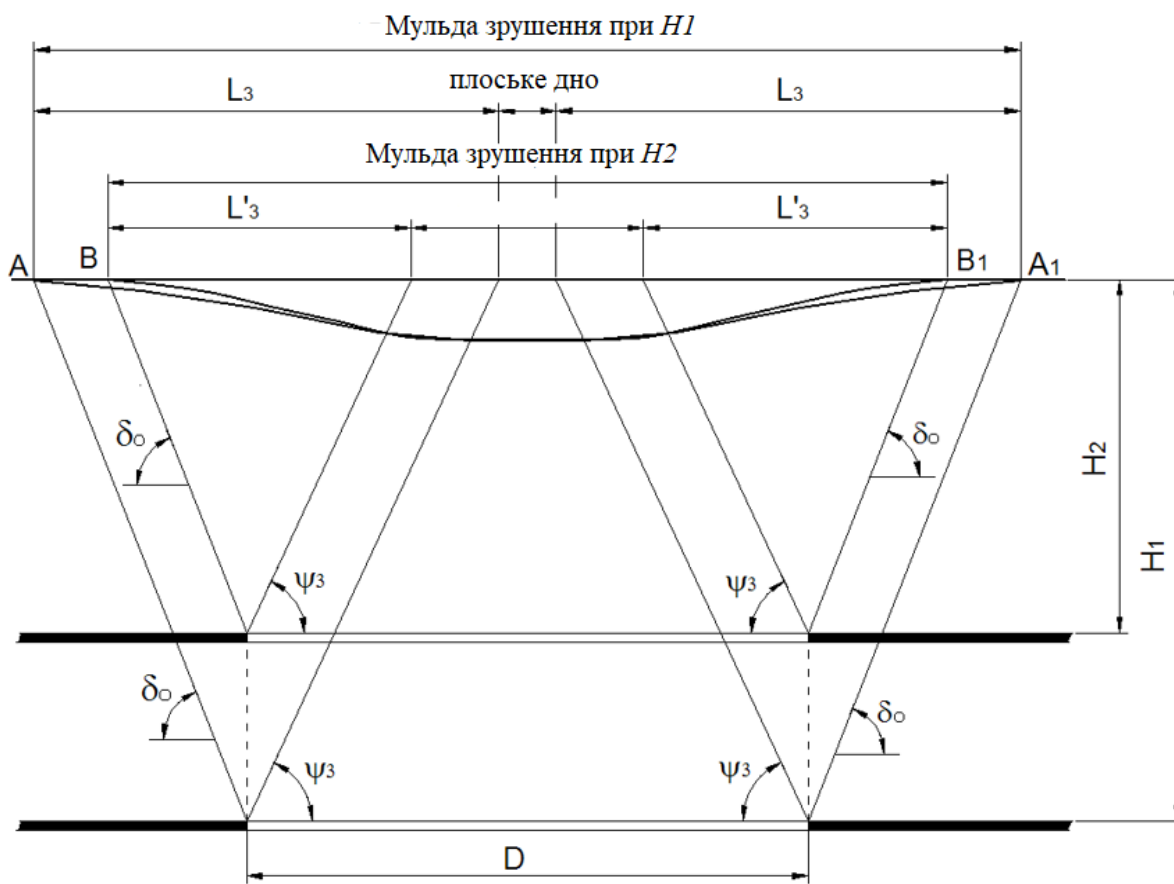


Рис. 2.10 Залежність лінійних параметрів зрушення мульди від глибини при повній підробці земної поверхні

2.3 Вибір напрямку досліджень кутових параметрів процесу зрушення у Західному Донбасі

Якщо підсумувати наведені вище факти, можна зробити такі висновки.

1. В умовах розробки вугільних пластів Західного Донбасу кут падіння порід і потужність пласта, що виймається, не повинні надавати помітного впливу на кутові параметри процесу зрушення.

2. При відповідному відборі результатів натурних інструментальних маркшейдерських спостережень за ознаками гірничо-геологічних умов відпрацювання пластів можна виключити вплив розмірів виробленого простору, ціликів у ньому, порядку ведення гірничих робіт і взаємного

розташування виробок, розрив у часі між відпрацюванням.

3. Основний вплив на кутові параметри процесу зрушення в Західному Донбасі мають глибина розробки, міцнісні та структурні особливості властивостей гірських порід.

Якщо порівняти графіки на рисунках 1.5, 1.6 і 2.9, стає очевидним логічний зв'язок: зі збільшенням глибини зростає міцність порід (рис. 2.9), це призводить до збільшення кутових параметрів зрушення (рис. 1.6), отже збільшення глибини викликає зростання граничних кутів та кутів зрушення (рис. 1.5). Такий висновок підтверджує висновок О.М. Медянцева [89-91] у тому, що «... залежність граничних кутів від глибини ведення гірських робіт у той самий час висловлює залежність граничних кутів від властивостей порід. Зі збільшенням глибини ведення гірських робіт збільшується ступінь метаморфізму порід і підвищується їх міцність».

На підставі викладеного можна сформулювати останній висновок таким чином: основний вплив на кутові параметри процесу зрушення в Західному Донбасі надають глибина розробки та особливості будови товщі гірських порід.

Якщо врахувати, що основна особливість будови товщі гірських порід в Західному Донбасі полягає в наявності потужних наносів, і встановлений факт залежності кутових параметрів від напряму по відношенню до просування фронту очисних робіт [80-82], то в загальному вигляді цей висновок може бути представлений виразом:

$$\delta_0 = f(H; h, A), \quad (2.6)$$

де H – глибина ведення гірничих робіт; h – потужність наносів; A – критерій, визначальний за яким із напрямів (відхід лави, прохід чи підхід лави до цілику) приймається кутовий параметр.

Вираз (2.6) визначає напрями, в яких повинні досліджуватися кутові параметри процесу зрушення, а саме залежність кутових параметрів від глибини ведення гірничих робіт, потужності наносів та розташування перерізу, в якому

визначається кутовий параметр щодо лави.

2.4 Аналіз та оцінка досліджень граничних кутів у Західному Донбасі

Методика розрахунку зрушень та деформацій земної поверхні при відпрацюванні вугільних пластів у Західному Донбасі була розроблена у 60-х роках минулого століття на початковій стадії освоєння родовища. Натурними інструментальними спостереженнями на той час було охоплено невеликий обсяг випадків підробітку земної поверхні гірничими роботами, які велися щодо однакових гірничо-геологічних умов на трьох шахтах виробничого об'єднання з видобутку вугілля нині ПРаТ ДТЕК "Павлоградвугілля".

Умови розробки вугільних пластів на ділянках, де проводилися маркшейдерські інструментальні спостереження за зрушенням земної поверхні, що послужили основою для встановлення параметрів зрушення та розробки методики розрахунку зрушень та наведені у табл. 2.4.

Залучення до розробки нових запасів вугілля супроводжувалося зміною гірничо-геологічних умов: збільшення глибини розробки до 500 і більше метрів, потужності наносів – до 150 м і, відповідно, зміна співвідношення потужності корінних порід та наносів.

Дослідження процесу зрушення, що проводилися в наступні роки, виявили розбіжності результатів натурних інструментальних маркшейдерських спостережень у нових умовах з розрахунковими величинами зрушень та деформацій та кутовими параметрами процесу зрушення.

Таблиця 2.4 – Характеристика та умови підробки спостережних станцій, закладених над гірничими розробками шахт Західного Донбасу у 1963-1965 роках

Шахта	Рік закладки станції	Кількість профільних ліній	Глибина розробки Н, м	Потужність наносів h, м	Кут падіння пласта, град.	Кількість пластів, що розробляються
Західно-Донбаська №1	1963	7	130-180	80-90	3-5	3
Західно-Донбаська №2	1965	8	115 -150	60	3-5	2
Тернівська №1	1964	3	160-175	70-85	до 2	2

Накопичені за час експлуатації шахт Західного Донбасу результати натурних спостережень, виконаних кафедрою маркшейдерії НГУ [26-28], дають підстави та можливість уточнити закономірності процесу зрушення, а саме величини кутових параметрів, що визначають розміри та положення мульди зрушення на земній поверхні, та межі зони небезпечного впливу. Результати цих досліджень не були використані при створенні діючого нормативного документа [123].

Для аналізу та оцінки кутових параметрів процесу зрушення у Західному Донбасі нами використано результати натурних спостережень на 14 профільних лініях реперів, що входять до складу спостережних станцій, характеристика яких наведена у табл. 2.5.

З таблиць 2.4 і 2.5 видно, наскільки у якому широкому діапазоні змінилися гірничо-геологічні умови ведення очисних робіт у Західному Донбасі з часу перших спостережень за зсувом земної поверхні на спостережних станціях. Зокрема, глибина ведення гірничих робіт збільшилася з 180 до 550 м,

потужність наносів – до 135 м, кратність підробітку змінюється в межах від 170 до 550 м.

Таблиця 2.5 – Умови підробки спостережних станцій Західного Донбасу

№ станції	Шахта	Розмір очисної виробітку, м		Виймається потужність пласта m , м	Глибина розробки H , м	Потужність наносів h , м	Кратність підробітки H/m
5/5	Першотравнева	270	240	0,80	160	100	200
5/1	Першотравнева	270	240	0,80	177	100	221
2	Тернівська	310	250	0,65	160	85	246
7	Степова	580	670	0,70	195	84	278
1/7	Першотравнева	200	400	0,75	133	55	177
8	Степова	540	800	0,70	197	70	281
10	Ювілейна	200	320	1,05	158	54	150
29/1	Ювілейна	360	800	1,10	280	90	255
29/2	Ювілейна	360	800	1,15	270	80	235
9/2	Ювілейна	330	700	0,71	225	63	317
9/1	Ювілейна	330	700	0,80	250	63	312
26	Західно-Донбаська	340	1000	1,10	550	135	500
23/1	Західно-Донбаська	510	800	1,00	543	133	543
23/2	Західно-Донбаська	510	800	1,00	545	135	545

З метою оцінки надійності отриманих раніше для умов Західного Донбасу кутових параметрів та перевірки методики їх визначення, за результатами вимірювань на кожній лінії реперів були визначені границі зон впливу та шкідливого впливу очисних гірничих робіт на земну поверхню (рис. 2.11). При цьому були використані критерії [123] для граничних кутів: нахили $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$

і розтягування $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$; для кутів зрушення: $i = 4 \cdot 10^{-3}$ і $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$ і кривизна $k = 0,2 \cdot 10^{-3}$ 1/м.

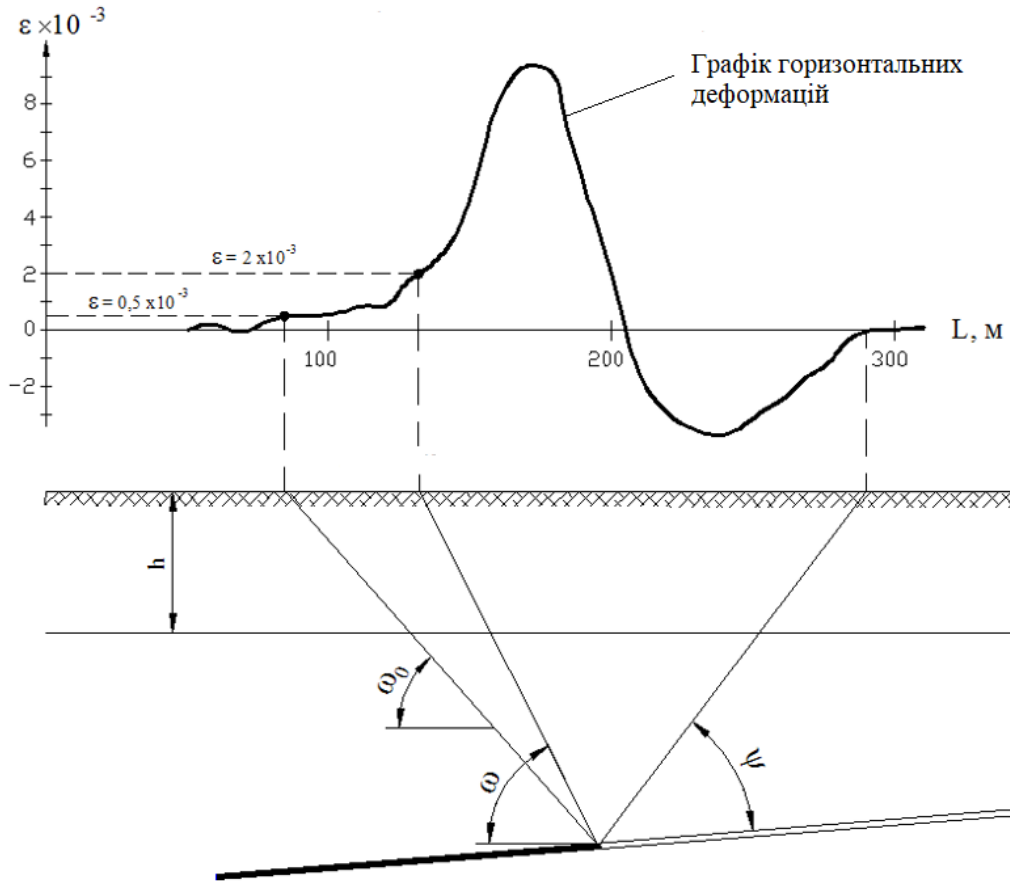


Рис. 2.11. Схема визначення фактичних кутів параметрів

З урахуванням отриманих границь на розрізах профільних ліній були визначені граничні кути мульди зрушення і кути зрушення. Товща гірських порід у Західному Донбасі складається з потужних наносів та порід карбону. Ми висловили припущення, що значення кутів параметрів процесу зрушення в названих шарах невідомі. Тому кути зрушення та граничні кути визначалися на розрізах без поділу в наносах та карбоні, тобто як загальні (уніфіковані) кути ω^Φ та ω_0^Φ нахилу до горизонту ліній, що з'єднують крайні нижні межі очисних гірничих виробок і точки з критичними значеннями деформацій на земній поверхні.

На цих розрізах були визначені кути повних зрушень ψ_Φ , що позначають

на земній поверхні межі плоского дна мульди зрушення.

Для порівняння значення цих же кутів відповідно до умовам підробки кожної з аналізованих ліній реперів спостережних станцій (табл. 2.6) були обчислені за даними, наведеними в "Правилах підробки..." [123]:

$$\operatorname{ctg}\omega_0^p = \frac{h}{H} \operatorname{ctg}\phi_0 + \frac{H-h}{H} \operatorname{ctg}\delta_0; \quad (2.7)$$

$$\operatorname{ctg}\omega^p = \frac{h}{H} \operatorname{ctg}\phi + \frac{H-h}{H} \operatorname{ctg}\delta, \quad (2.8)$$

де ω_0^p и ω^p – уніфіковані розрахункові граничні кути та кути зрушення, град.; ϕ_0 , ϕ , δ_0 , δ – граничні кути в наносах та карбоні; H – глибина розробки пласта, м; h – потужність наносів, м.

Значення фактичних та розрахованих за формулами (2.7, 2.8) граничних кутів, кутів зрушення та кутів повних зрушень наведено в табл.2.6.

Аналіз наведених даних показує, що середні значення фактичних кутових параметрів, наведених у табл. 2.6 складають: $\omega_{\phi_{\text{ср}}}^{\phi} = 56,0^{\circ}$; $\omega_{\text{ср}}^{\phi} = 71,6^{\circ}$; $\psi_{\text{ср}}^{\phi} = 56,5^{\circ}$. Середньоквадратичні відхилення кутів по окремих спостережних станціях від середніх значень Західного Донбасу рівні:

– для граничних кутів ω_{ϕ_0}

$$m_{\omega_0} = \pm 5,0^{\circ};$$

– для кутів зрушення ω_{ϕ}

$$m_{\omega} = \pm 4,8^{\circ};$$

– для кутів повних зрушень ψ_{ϕ}

$$m_{\psi} = \pm 5,3^{\circ}.$$

Розбіжність величин уніфікованих граничних кутів, визначених за даними інструментальних спостережень (фактичних) і розрахованих за методикою [123] кутів становлять $+6...-11^{\circ}$ за середнього квадратичного відхилення $\pm 5,1^{\circ}$. Різниця уніфікованих обчислених і фактичних кутів зрушення досягає величин $1...13^{\circ}$, що відповідає середньоквадратичному відхиленню $\pm 8,5^{\circ}$.

Таблиця 2.6 – Значення кутових параметрів ω_0^ϕ , ω^ϕ , ω^{p_0} , ω^p , ψ_ϕ

№ пп	№ станції	Граничні кути, град			Кути зрушення, град			Кути повних зрушень, град			Відстань до границі зони небезпечних деформацій		
		ω_0^ϕ	ω^{p_0}	Δ	ω_ϕ	ω^p	Δ	ψ_ϕ	ψ	Δ	факт.	розрах.	Δ
1	5/5	54	51	+3	68	58	+10	49	55	-8	64	100	-36
2	5/1	52	52	0	72	59	+13	53	55	+2	56	106	-50
3	2	-	-	-	67	60	+7	57	55	+2	68	92	-24
4	7	61	55	+6	76	63	+13	52	55	-3	50	99	-49
5	1/7	-	-	-	66	63	+3	48	55	-7	58	68	-10
6	8	58	57	+1	72	65	+7	54	55	-1	65	92	-27
7	10	53	57	-4	68	65	+3	56	55	+1	66	74	-8
8	29/1	49	58	-9	67	66	+1	64	55	+9	120	125	-5
9	29/2	47	58	-11	67	66	+1	-	55	-	120	125	-5
10	9/2	61	58	+3	76	67	+9	62	55	+7	57	96	-39
11	9/1	57	59	-2	72	68	+4	64	55	+9	80	101	-21
12	23/1	62	59	+3	81	68	+13	61	55	+6	90	219	-129
13	23/2	61	59	+2	79	68	+11	58	55	+3	100	220	-120

Привертає увагу той факт, що відхилення обчислених кутів зрушення носять явно виражений систематичний характер у бік їх зменшення.

Для оцінки практичного значення похибок визначення кутів зрушення виконано розрахунок положення границь зон небезпечного впливу гірничих робіт щодо границь очисних виробок. Як видно з результатів обчислень (табл. 2.7), у всіх випадках розміри зони небезпечних деформацій, розраховані за "Правилами підробки..." [123], перевищують фактичні, і для умов станції №23 розміри запобіжного цілика виявилися завищеними на 120-130 м.

Початок плоского дна згідно з "Правилами підробки..."[123] визначається кутом повних зрушень $\psi=55^\circ$. Фактичні значення цих кутів ψ_ϕ за аналізованими спостережними станціями змінюються від 49 до 64° . Середня квадратична похибка кута ψ'' становить $\pm 5,5^\circ$.

Проведені дослідження вказують на невідповідність нормативних кутових параметрів [123], що застосовуються в даний час для умов Західного Донбасу, фактичним величинам кутів зрушення, граничних кутів та кутів повних зрушень. Найбільш чітко ця невідповідність проявляється при малих та великих глибинах розробки вугільних пластів.

Чинні кутові параметри були встановлені А.В. Онищенко за розробленою ним методикою [109].

Ця методика заснована на вирішенні систем із двох рівнянь із двома невідомими. Кожне рівняння складається за результатами спостережень окремо за кожною з профільних ліній реперів, що підробляються, і має вигляд:

– для граничних кутів

$$H_i \operatorname{ctg} \omega_0^\phi = h_i \operatorname{ctg} \phi_0 + (H_i - h_i) \operatorname{ctg} \delta_0; \quad (2.9)$$

– для кутів зрушення

$$H_i \operatorname{ctg} \omega_\phi = h_i \operatorname{ctg} \phi + (H_i - h_i) \operatorname{ctg} \delta, \quad (2.10)$$

де H_i – глибина розробки пласта для умов i -ї профільної лінії, м; h_i – потужність наносів в районі i -ї лінії реперів, м.

Відповідно до [109], з усієї сукупності даних про границі зони впливу гірничих робіт (табл. 2.6) може бути складено 55 пар лінійних рівнянь (2.9), а для границь небезпечного впливу – 78 пар рівнянь (2.10). Однак з урахуванням обмежень, що вводяться з метою зменшення впливу похибок вимірювань та розкиду вихідних даних, як це зроблено в роботі [109], граничні кути ϕ_0 і δ_0 і кути зрушення ϕ і δ визначалися з 15 і 19 пар рівнянь відповідно табл. 2.7, 2.8.

Таблиця 2.7 – Граничні кути, обчислені за методикою А.В. Онищенко [109]

№№ рівнянь, складових пару	Граничний кут, град.		Відхилення від середнього, град.	
	у наносах φ_0	у карбоні δ_0	$\varphi_0 - \varphi_{0\text{сер}}$	$\delta_0 - \delta_{0\text{сер}}$
1 - 4	43.2	80.0	-7.3	20.0
1 - 6	49.0	63.4	-1.5	3.4
1 - 7	55.2	51.4	4.7	-8.6
1 - 8	61.1	44.2	10.6	-15.8
1 - 9	64.0	41.4	13.5	-18.6
1 - 10	47.4	67.1	-3.1	7.1
1 - 11	51.1	59.1	0.6	-0.9
1 - 12	47.3	67.4	-3.2	7.4
1 - 13	48.1	66.0	-2.4	6.0
2 - 8	58.0	45.2	7.5	-14.8
2 - 9	62.0	42.1	11.5	-17.9
2 - 10	41.4	71.2	-9.1	11.2
2 - 11	46.0	61.3	-4.5	1.3
2 - 12	41.5	71.0	-9.0	11.0
2 - 13	42.3	69.1	-8.2	9.1
Середнє значення	50.5	60.0		

Примітка – Номери рівнянь відповідають порядковим номерам профільних ліній реперів у таблиці. 2.6.

В результаті попарного розв'язання складених рівнянь було отримано значення кутів, які змінюються в таких межах:

- граничні кути в наносах φ_0 змінюються від 41 до 64°;
- граничні кути в породах карбону δ_0 змінюються від 41 до 80°;

– кути зрушення в наносах φ змінюються від 49 до 83°;

– кути зрушення в породах карбону δ змінюються від 59 до 93°.

Таблиця 2.8 – Кути зрушення, обчислені за методикою А.В. Онищенко
[109]

№№ рівнянь, складових пару	Кут зрушення, град.		Відхилення від середнього, град.	
	у наносах φ	у карбоні δ	$\varphi - \varphi_{\text{ср}}$	$\delta - \delta_{\text{ср}}$
1 - 4	55.5	93.7	-9.2	16.5
1 - 5	71.2	63.0	6.5	-14.2
1 - 6	63.3	76.3	-1.4	-0.9
1 - 7	69.2	66.1	4.5	-11.1
1 - 8	69.5	65.2	4.8	-12.0
1 - 9	70.4	64.0	5.7	-13.2
1 - 10	60.4	82.2	-4.3	5.0
1 - 11	64.2	75.0	-0.5	-2.2
1 - 12	57.4	89.0	-7.3	11.8
1 - 13	58.2	87.3	-6.5	10.1
2 - 8	83.2	60.0	18.5	-17.2
2 - 9	83.4	59.3	18.7	-17.9
2 - 10	67.3	79.0	2.6	1.8
2 - 11	72.4	72.0	7.7	-5.2
2 - 12	62.2	87.0	-2.5	9.8
2 - 13	63.3	85.2	-1.4	8.0
3 - 11	58.5	77.1	-6.2	-0.1
3 - 12	49.3	93.5	-15.4	16.3
3 - 13	50.3	91.7	-14.4	14.5
Середнє значення	64.7	77.2		

Примітка – Номери рівнянь відповідають порядковим номерам профільних ліній реперів у таблиці. 2.6.

Середньоквадратичні відхилення значень кутів у таблицях 2.7, 2.8 від середніх значень $\varphi_0 = 50,5^\circ$, $\delta_0 = 60^\circ$, $\varphi = 64,7^\circ$ і $\delta = 77,2^\circ$ склали відповідно $\pm 7,5^\circ$; $\pm 11,8^\circ$; $\pm 9,1^\circ$; $\pm 11,4^\circ$.

Для умов Західного Донбасу було розроблено ще одну методику визначення кутових параметрів процесу зрушення [106, 107]. В основу способу визначення кутів покладено регресійний аналіз залежності уніфікованих кутових параметрів від потужностей наносів і карбону. Отримані авторами кутові параметри для умов шахт Західного Донбасу склали: $\varphi_0 = 57^\circ$, $\delta_0 = 70^\circ$, $\psi_n = 44^\circ$, $\psi_k = 70^\circ$.

Нами виконано аналіз уніфікованих для товщі гірських порід, що підробляється, граничних кутових параметрів для умов спостережних станцій, характеристика яких наведена в табл. 2.5. При цьому порівнювалися значення фактичних граничних кутів (табл. 2.6) та кутів, розрахованих за методикою [123], Онищенко О.В. [109] та методикою Назаренко В.А. [105]. За значеннями різниць фактичних та розрахованих кутів визначено середньоквадратичні похибки граничних кутів для кожної з названих методик. Результати аналізу наведено у табл. 2.9.

За результатами аналізу граничних кутів побудовано графіки, що характеризують залежність кутових параметрів від відношення потужності наносів до глибини гірничих робіт h/H (рис. 2.12).

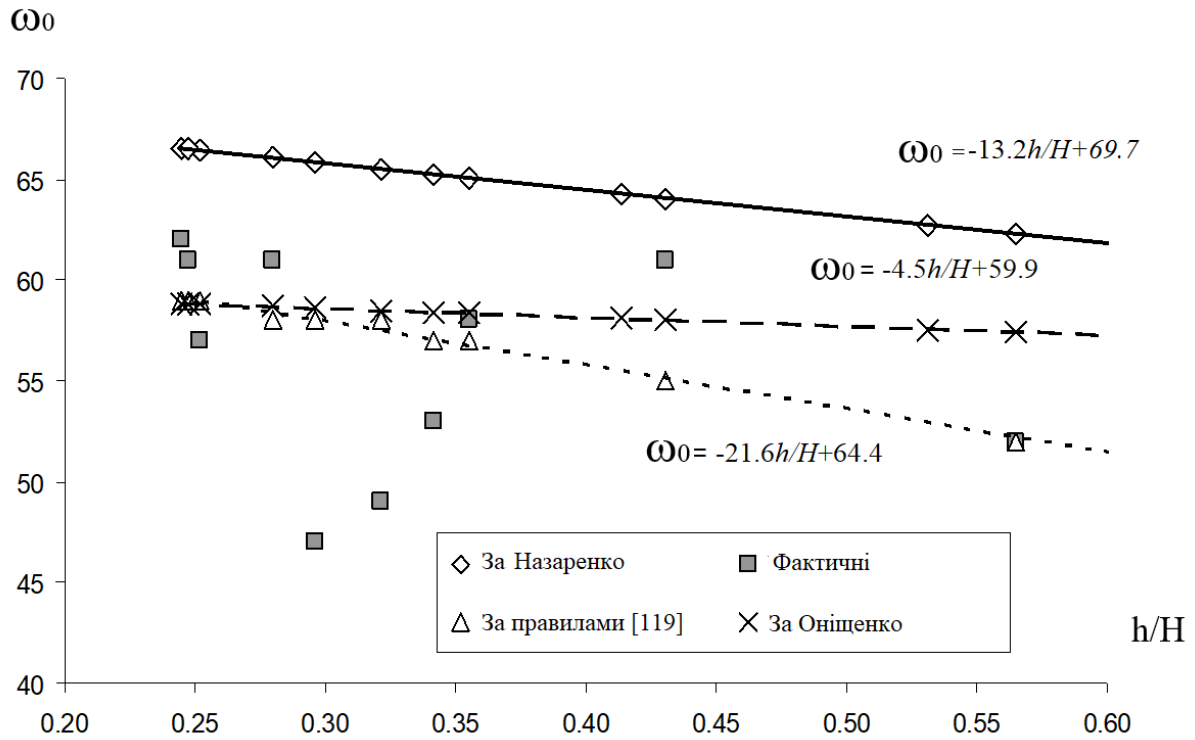


Рис. 2.12. Графіки залежності граничних кутів від відношення потужності наносів до глибини

Таблиця 2.9 – Аналіз граничних кутових параметрів для умов Західного Донбасу

№ станції	h/H	Значення уніфікованих граничних кутів ω_0 , град.				Різниця фактичних та обчислених кутів					
		фактич. ω^{ϕ_0}	розраховані ω^{ρ_0}			[123]		[109]		[105]	
			за Правилами [123]	за методикою [109] Оніщенко О.В.	за методикою [105] Назаренко В.О.	$\omega^{\phi_0} - \omega^{\rho_0}$	$m_{\omega\theta}$	$\omega^{\phi_0} - \omega^{\rho_0}$	$m_{\omega\theta}$	$\omega^{\phi_0} - \omega^{\rho_0}$	$m_{\omega\theta}$
5/5	0,63	54,0	51,0	57,1	61,5	3,0	$\pm 5,13$	-3,1	$\pm 5,44$	-7,5	$\pm 10,29$
5/1	0,56	52,0	52,0	57,4	62,3	0,0	$\pm 5,13$	-5,4	$\pm 5,44$	-10,2	$\pm 10,29$

7	0,43	61,0	55,0	58,0	64,0	6,0	2,9	-3,0
8	0,36	58,0	57,0	58,3	65,0	1,0	-0,3	-7,0
10	0,34	53,0	57,0	58,4	65,2	-4,0	-5,4	-12,2
29/1	0,32	49,0	58,0	58,5	65,5	-9,0	-9,5	-16,5
29/2	0,30	47,0	58,0	58,6	65,8	-11,0	-11,6	-18,8
9/2	0,28	61,0	58,0	58,7	66,1	3,0	2,3	-5,0
9/1	0,25	57,0	59,0	58,8	66,4	-2,0	-1,8	-9,4
23/1	0,24	62,0	59,0	58,9	66,5	3,0	3,1	-4,5
23/2	0,25	61,0	59,0	58,8	66,5	2,0	2,1	-5,5

З даних видно, що розраховані кутові параметри лінійно залежать від відношення потужності наносів до глибини розробки. Ця залежність при коефіцієнтах кореляції $R=1$ описується формулами:

– для методики Правил підробки [123]

$$\omega_0 = -21,6h / H + 64,4;$$

– для методики Онищенко О.В. [109]

$$\omega_0 = -4,5h / H + 59,9 ;$$

– для методики Назаренко В.А. [105]

$$\omega_0 = -13,2h / H + 69,7 .$$

Розподіл фактичних кутових параметрів досить хаотичний (рис. 2.12) і показує залежність кутів від відношення потужності наносів до глибини розробки. Слід зазначити, що на малому інтервалі h/H від 0,25 до 0,35 значення кутів змінюються від $\omega^{\phi}_0 47^\circ$ до 62° , а на інтервалі 0,35-0,60 кути змінюються від 52° до 61° .

Зазначений факт дає підставу засумніватися в залежності граничних кутів від співвідношення потужності наносів і глибини розробки.

Середньоквадратичні відхилення кутів, розрахованих за методиками [123] та [109] від фактичних кутів практично однакові та трохи перевищують $\pm 5^\circ$. Найбільшу помилку ($\pm 10,3^\circ$) мають кути, розраховані за методикою [105]. Це означено тим, що у методиці [105] при визначенні границь мульди зрушення використовувалися не прийняті критерії $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$ і $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$, а градієнт зміни інтегральної функції Гауса, яку В.О. Назаренко прийняв як функцію розподілу осідань у мульді. З цієї причини кутові параметри, що розглядаються, мають різний фізичний зміст і не можуть бути коректно зіставлені. Тим не менш, тенденції зміни граничних кутів зі зміною потужності наносів у методиках [123], [109], [105] цілком співпадають, але вони не достатньо відображають фактичний розподіл граничних кутів для умов Західного Донбасу.

З результатів проведених досліджень випливає, що кутові параметри, визначені за даними натурних спостережень із застосуванням постійних критеріїв, суттєво відрізняються один від одного. Встановлено, що значення граничних кутів φ_0 і δ_0 , регламентовані "Правилами підробки ..." [123] для умов шахт Західного Донбасу, відрізняються від кутів, отриманих з натурних інструментальних маркшейдерських спостережень за зрушенням земної поверхні. Такий самий висновок випливає з аналізу кутових параметрів, що визначаються за методиками [109], [105], розробленими для умов цього родовища.

Наведені факти вказують на необхідність подальших досліджень процесу зрушення земної поверхні в Західному Донбасі з метою уточнення значень кутових параметрів, що забезпечить більш ефективні заходи охорони об'єктів, що підробляються, і дозволять уникнути невиправданих втрат вугілля в ціликах.

Методика визначення кутових параметрів, розроблена О.В. Онищенко, має суттєвий недолік, який полягає в тому, що вирішувалася система, що складається з великої кількості рівнянь із двома невідомими. Такі системи немає однозначного рішення, а запропоноване рішення некоректно з погляду теорії помилок.

Дослідження В.О. Назаренко заслуговують на увагу, але вони засновані на припущенні, що розподіл осідань у мульдї зрушення відповідає інтегральному розподілу функції Гауса. Навіть за незначних відмінностях цих розподілів виникатимуть суттєві помилки. Критерієм для визначення кутових параметрів прийнято градієнт зміни функції Гауса в найбільш характерній, але при цьому і найбільш "чутливій" до похибок, точці перегину інтегральної кривої. Другий суттєвий недолік методики [105], на наш погляд, полягає в тому, що не використовуються прийняті в даний час критерії для визначення границь зони впливу та зони небезпечного впливу гірничих розробок. Тому отримані граничні кути не узгоджуються з нормативною методикою розрахунку зрушень і деформацій земної поверхні [123].

2.5 Висновки до розділу 2

Відповідно до існуючих уявлень про зрушення гірських порід і земної поверхні, причиною осідань земної поверхні в крайовій частині мульди зрушення є деформації вугільного пласта і порід, що вміщують його під дією опорного тиску. Цей факт встановлено на підставі багатьох досліджень, що проводилися як на поверхні вугільних шахт, так і у гірничих виробках. Отримані результати знайшли підтвердження при моделюванні процесу зрушення.

Дослідження зон опорного тиску вказують на залежність їх протяжності від глибини розробки, фізико-механічних властивостей гірських порід і потужності пласта, що виймається. На підставі встановлених закономірностей прийнято, що показником, що характеризує дальність поширення опорного тиску в масиві є граничний кут. Саме він визначає границі впливу очисної виробки на земній поверхні.

Проводячи аналогію між зоною опорного тиску в масиві та зоною впливу очисних робіт на земній поверхні, можна зробити висновок про залежність граничного кута від тих самих факторів, що і довжина зони опорного тиску.

Аналіз факторів, що впливають на процес зрушення земної поверхні, і

встановлені закономірності зміни кутових параметрів зрушення гірських порід показують, що граничні кути і кути зрушення мало залежать від потужності пласта, що виймається. Але вони суттєво відрізняються у перерізах мульди, які по-різному зорієнтовані по відношенню до очисної виробки.

Родовище вугілля Західного Донбасу характеризується наявністю в товщі гірських порід потужного шару наносів і корінних порід. Міцнісні властивості цих шарів не дуже відрізняються. На думку багатьох дослідників саме міцнісні характеристики порід наносів та карбону значною мірою впливають на кутові параметри процесу зрушення. Встановлення потужності наносів здійснюється за віком цих порід і ні яким чином не враховується їх вміст та міцність.

Таким чином, основними напрямками, за якими повинні досліджуватися кутові параметри процесу зрушення в Західному Донбасі, є: залежність граничних кутів, кутів зрушення та кутів повних зрушень від глибини ведення гірських робіт, потужності наносів і розташування перерізу, в якому визначається кутовий параметр по відношенню до лави.

Залежність положення границі зони впливу очисної виробки на земній поверхні від потужності порід наносів виявляється у відмінності кутових властивостей для корінних порід і наносів. Саме такий підхід до визначення меж мульди зрушення реалізований у чинних "Правилах підробки ..." [123] та методиках [109], [105], розроблених для умов Західного Донбасу.

Дослідження показали, що значення граничних кутів φ_0 і δ_0 , регламентовані "Правилами підробки..." [123] і визначені за методиками [109] і [105], відрізняються від кутів, отриманих з натурними інструментальними маркшейдерськими спостереженнями за зрушенням земної поверхні. Водночас встановлено але не доказано, що розподіл фактичних кутових параметрів залежить від співвідношення потужності наносів до глибини розробки.

З цього випливає, що в даний час не можуть бути повною мірою забезпечені ефективні заходи охорони об'єктів, що підробляються, і створюються передумови для не виправданих втрат вугілля в надрах.

Основний висновок – необхідні подальші дослідження процесу зрушення земної поверхні у Західному Донбасі з метою уточнення значень кутових параметрів.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРУШЕННЯ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ В ЗАХІДНОМУ ДОНБАСІ

Тематика дисертаційного дослідження узгоджується з завданнями Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази (МСБ) України на період до 2030 р. в підрозділі «Кам'яне вугілля» глави «Паливно-енергетичні ресурси» розділу IV.

В основу роботи покладено дослідження процесу зрушення земної поверхні у Західному Донбасі, виконані співробітниками кафедри маркшейдерії НТУ «Дніпровська політехніка» (ДДП) відповідно до науково-дослідних програм №№ 121 (1970 р.), 294 (1972 р.), 645 (№ ГР 68062854), 1964-1971 р.р., 688 (1964-1966 р.р.), 1964-1966 р.р. 760.61860), 1972-1983 р.р., 874 (1967-1969 р.р.), 050109 (1985-1988 р.р.), Ш-471 (№ ГР 0101 U 005685).

3.1 Геологічна характеристика родовища вугілля Західного Донбасу

Кам'яновугільне родовище Західного Донбасу становить західну частину Великого Донбасу та розташоване в основному на території Дніпропетровської області. В даний час найбільш важливим та освоюваним вугільним районом є Павлоградсько-Петропавлівський.

Промислова вугленосність басейну встановлена для відкладень нижнього карбону (Самарська оточення C_1^3), а останнім часом і для середнього карбону. У нижньому карбоні розвідано 15 промислових вугільних пластів, у середньому карбоні розвідками виявлено до 20 робочих пластів. Їхня потужність коливається в межах 0,6-1,8 м, рідше до 2,5-3,0 м.

Західний Донбас належить до типу закритих вугленосних площ. Кам'яновугільні відкладення покриті товщею мезозойських та кайнозойських

порід (наносів) і ніде не виходять на земну поверхню. Потужність покриваючих порід непостійна і коливається у значних межах - від 50 м до 250 м, збільшуючись з півдня на північ.

Кайнозойські відкладення розвинені суцільним покривом по всій території Західного Донбасу і представлені пісками, включаючи пливуні, (рідше слабо зцементованими пісковиками), глинами, суглинками.

Глини представлені щільними різницями, що характеризуються червоно-бурими тонами забарвлення, з вапняними включеннями з промазками та зернами окису марганцю. Шар глини найчастіше залягає безпосередньо за рослинним шаром.

Суглинок коричнево-бурий або червонуватий, щільний з вапняними включеннями.

Пісок має зеленувато-сіре або темно-зелене забарвлення, тонкозернистий з жовтуватими включеннями, глинистий, щільний, кварцовий. Пісок, в основному, обводнений, має плавуні властивості. У пісках зустрічається уламковий матеріал, що представляє окремих пісковик розміром до 0,10 м.

Кам'яновугільні відкладення представлені пісковиками, алевролітами та аргілітами. У покрівлі та ґрунті пластів найчастіше залягають алевролітові та аргілітові сланці. Потужності пачок сланців коливаються не більше 10-30 м. Піщаники найчастіше залягають у товщі карбону, але іноді приурочені до ґрунту та покрівлі вугільних пластів. Потужність пачок пісковика, що залягає в ґрунті і покрівлі пласта, близько 10 м. Потужність пачок пісковика, що залягають в товщі карбону, досягає 30 м.

Пісковики характеризуються слабкоглинистим та глинисто-вапняним цементом; повсюдно кварцові, світло-сірі, дрібно або середньозернисті.

Аргіліти, в основному, складають безпосередню покрівлю та ґрунт вугільних пластів. Породи характеризуються тонкозернистою структурою, щільні із сірими тонами забарвлення. Повсюдно зустрічаються рослини, що обвуглилися, залишки. Уламковий матеріал, в основному, представлений

уламками піриту, сидериту розміром 2-3 см.

Алевроліти характеризуються дрібнозернистою структурою. Повсюдно зустрічаються прошарки кварцового піску і рослинні залишки, що обвуглилися.

Гідрогеологічні умови розглянутого району складніші, ніж у Старому Донбасі. Відомо 16 водоносних горизонтів. У покривних відкладеннях найбільш водорясним є Харківська та Бучацька поклади, води яких використовуються для водопостачання. Всі водоносні горизонти покривних відкладень гідравлічно пов'язані між собою та, можливо, з кам'яновугільними водоносними горизонтами.

Водоносність кам'яновугільних відкладень нерівномірна. Водоносними є пісковики, вапняки та пласти вугілля; їхня потужність у нижньому карбоні не перевищує 15-20 % сумарної потужності відкладень.

Таким чином, геологічну та гідрогеологічну будову товщі порід у Західному Донбасі характеризується:

а) великий потужністю наносів (від 50 до 250 м і більше), що змінюється в широких межах, з наявністю в них плавунів, зволжених і обводнених пісків;

б) зміною поверхні карбону та інших літологічних поверхонь, на яких лежать наносні породи;

в) наявністю великої кількості водоносних горизонтів;

г) великою кількістю порожнистих залягаючих (до 5°) вугільних пластів.

Все зазначені вище вказує на значні відмінності умов розробки вугільних пластів у Старому та Західному Донбасі.

В даний час у Західному Донбасі є десять шахт, що діють: "Степова", "Ювілейна", "Тернівська", "Благодатна", "Павлоградська", "Самарська", "Дніпровська", ім. Героїв Космосу, "Західно-Донбаська", ім. Сташкова. Зазначені шахти розробляють вугільні пласти Самарської групи z_1 , z_2^1 , z_3 , z_4^H , z_5 , z_6 , z_7 , z_8^H , z_8 , z_{10} , H_{10} , C_{11} .

Для вивчення зрушення гірських порід і земної поверхні важливими є фізико-механічні властивості порід, що вміщують. У додатку А наведено основні

із властивостей порід за даними [85], отримані в результаті контрольного буріння свердловин у різних районах Західного Донбасу. При бурінні свердловин проводилися випробування властивостей окремих різниць порід по кернах до глибини 600 м. Породи випробовувалися на стиск та розтяг, а також визначалася їх вологість та пористість.

Дані випробування фізико-механічних властивостей показують, що межа міцності на стиск порід карбону не значно перевищує аналогічний показник порід наносів. Спостерігається зростання міцності порід зі збільшенням глибини їхнього залягання: для алевролітів від 140 до 440 кг/см²; аргілітів – 65-240 кг/см²; пісковики – 210-870 кг/см².

3.2 Натурні маркшейдерські інструментальні спостереження за зміщенням земної поверхні на шахтах Західного Донбасу

У початковий період освоєння родовища вугілля у Західному Донбасі було передбачено будівництво та експлуатацію першої групи шахт на трьох його ділянках, де продуктивна товща карбону виходить під наноси. Глибина відпрацювання вугільних пластів шахтами першої черги склала 100–250 м. Перші спостережні станції для вивчення процесу зрушення земної поверхні були закладені над очисними виробітками шахт "Першотравнева" (станція №1), "Степова" (ст. № 3) та "Тернівська". Надалі, з розвитком гірничих робіт та введення в експлуатацію нових шахт, були отримані експериментальні дані про процес зрушення гірських порід та земної поверхні на спостережних станціях №№ 4, 5, 11, 30 (шх. "Першотравнева"), 7, 8, 12, 13, 14, 17, 19, 20, 21, 31 (шх. "Степова"), 9,10, 29 (шх. "Ювілейна"), 6 (шх. "Тернівська"), 15 (шх. "Самарська"), 16 (шх. "Шо." Глибина ведення очисних гірничих робіт у районах закладення спостережних станцій досягла 350 м.

Наступний етап освоєння Західного Донбасу характерний розвитком гірничих робіт з видобутку вугілля в скидній частині родовища на глибинах до

600 м. Це пов'язано із введенням в експлуатацію шахт ім. Героїв космосу та "Західно-Донбаської". Для дослідження зрушення земної поверхні в нових умовах ведення гірничих робіт було закладено спостережні станції №№ 22, 24, 25, 27 (шх. ім. Героїв Космосу) та 23, 26 (шх. "Західно-Донбаська").

Всього за час вивчення процесу зрушення гірських порід і земної поверхні на шахтах Західного Донбасу закладено 35 типових спостережних станцій, що складаються з 74 профільних ліній (без урахування спеціальних спостережних станцій №№ 28, 30-34, закладених над великими тектонічними порушеннями та станції №18, на якій спостереження не проводилися). На станціях виконано 546 серій спостережень, включаючи короткочасні (частотні) спостереження.

Спостережні станції підроблені очисними гірничими роботами за пластами потужністю від 0,60 до 1,20 м. Глибина розробки пластів по станціях змінюється від 100 до 550 м, потужність наносів – 50-200 м, кут падіння пластів – 2-5°. Управління гірським тиском – повне обвалення.

Загальна характеристика спостережних станцій та умови їх підробки наведені у додатку Б.

Натурні інструментальні маркшейдерські вимірювання на спостережних станціях виконано за методикою і з точністю, передбаченими Інструкцією зі спостережень за зрушенням земної поверхні та спорудами, що підробляються, на вугільних і сланцевих родовищах [49].

За конструкцією спостережні станції Західного Донбасу можуть бути віднесені до типових спостережних станцій із забивними ґрунтовими реперами, що закладаються в головних перерізах мульди зрушення.

Для дослідження та визначення кутових параметрів процесу зрушення умови підробки спостережних станцій повинні відповідати певним критеріям, а саме:

- процесу зрушення, що закінчився;
- повна підробка у напрямку, що збігається з напрямком профільної лінії;

- відсутність впливу тектонічних порушень;
- розташування профільної лінії в одному з головних перерізів мульди зрушення або переріз близькому до нього;
- первинна підробка земної поверхні.

Приклади розташування профільних ліній спостережних станцій №5, №35 та №№12,13 наведені на рис. 3.1-3.2.

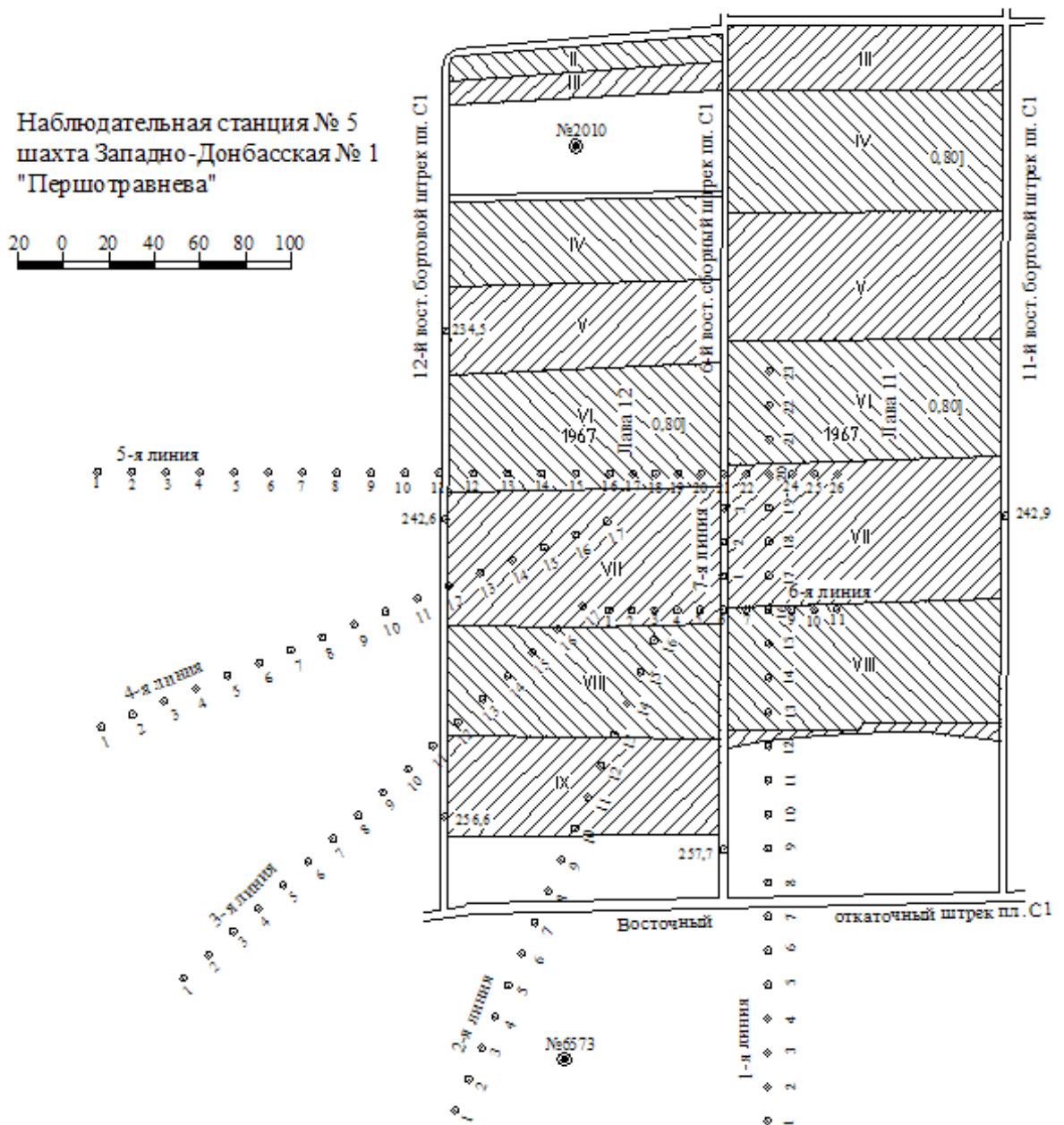


Рис. 3.1. План спостережної станції №5 (копія із звіту [55])

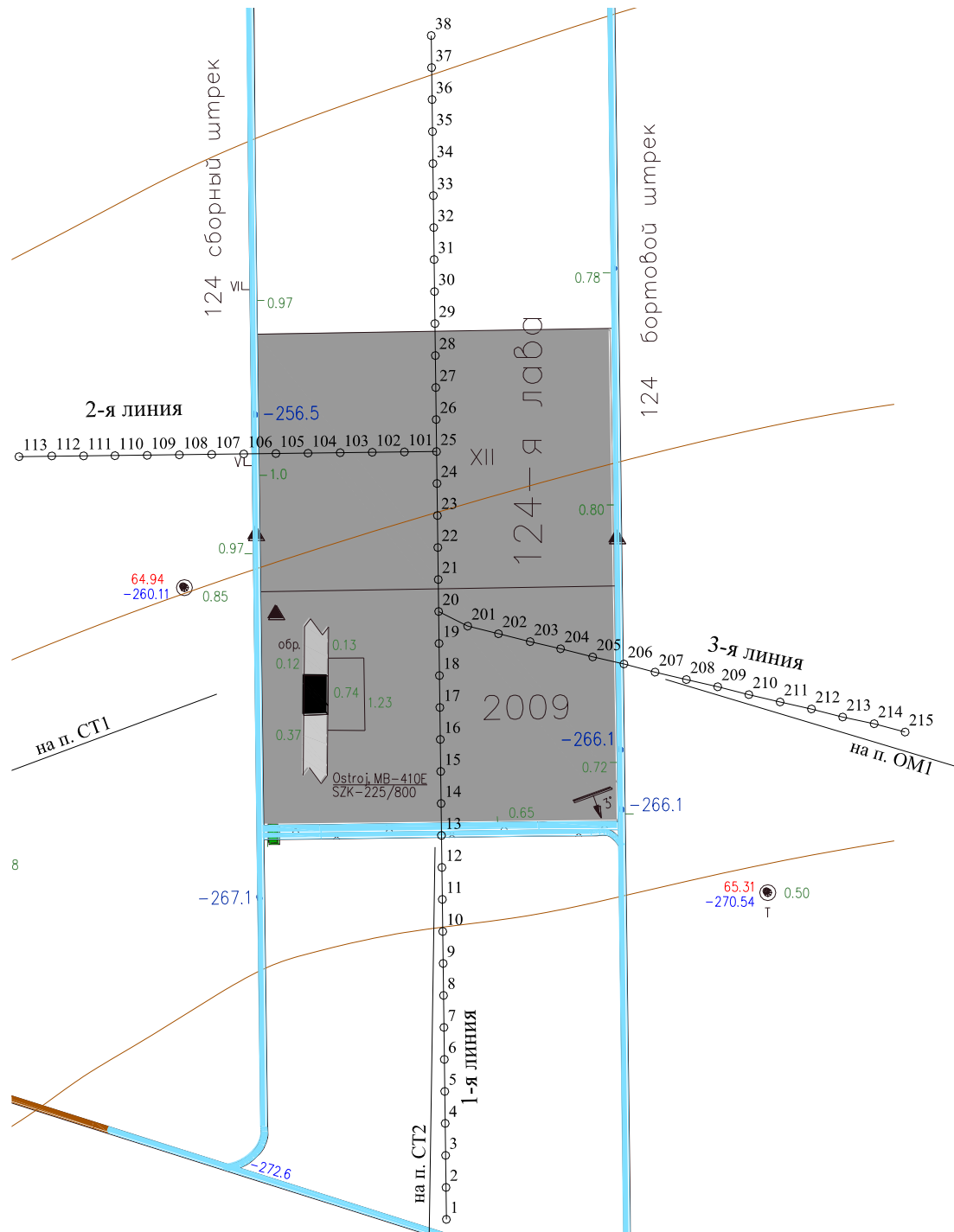


Рис. 3.2. План спостережної станції №35 (план гірничих робіт наданий керівництвом шахти «Благодатна»)

В результаті аналізу планів спостережних станцій Західного Донбасу та результатів натурних інструментальних спостережень за зрушенням земної поверхні встановлено, що заданим умовам повністю або частково з невеликими відхиленнями відповідають станції: № 4 (лінії 1, 2), 5 (лінія 5), 6 (лінія 1), 7 (лінія

1 2), 10 (лінії 1, 2), 11 (лінії 1, 2), 12 (лінії 1, 3), 13 (лінія 1), 14 (лінії 2, 3), 22 (лінія 1), 23 (лінія 1), 24 (лінії 1, 2) 1), 29 (лінія 1) та 35 (лінії 1-3).

Закладення станції №35, виконання спостережень та їх обробка виконувались автором особисто під контролем керівника дисертаційної роботи з використанням сучасного геодезичного обладнання (GNSS-приймач – для виносу станції, електронний тахеометр – для вимірювання довжин).

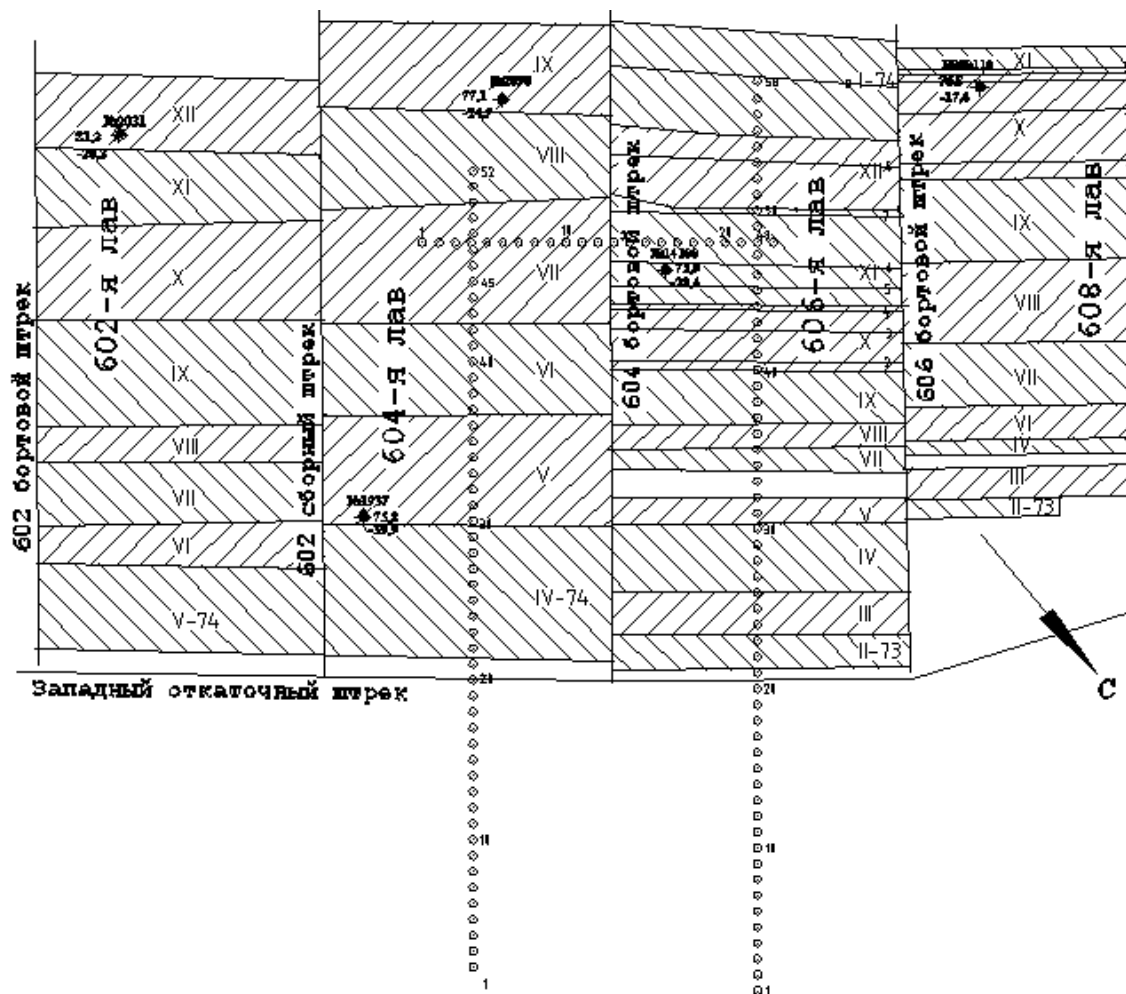


Рис. 3.3. План спостережних станцій №№ 12, 13 (копія із звіту [56])

3.3 Обробка результатів маркшейдерських спостережень з метою визначення кутових параметрів зрушення мульди

З урахуванням завдань, вирішуваних у роботі, найбільший інтерес представляють крайові ділянки мульди зрушення, у яких розташовуються точки

поверхні з критичними значеннями деформацій. Для граничних кутів ці деформації становлять: нахили $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$ і розтягування $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$.

Для визначення кутів зрушення приймаються точки, де нахили земної поверхні сягають величин: $i = 4 \cdot 10^{-3}$, а горизонтальні деформації – $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$.

Величини критичних деформацій можна співставляти з точністю маркшейдерських вимірів, особливо щодо границь мульди зрушення. З цієї причини, коли йдеться про границі зони впливу та зони небезпечного впливу, слід розуміти, що ці границі знаходяться не в конкретних точках, а на певному інтервалі. У межах такого інтервалу величини деформацій земної поверхні коливаються, приймаючи значення близькі до критичних (рис. 2.11).

У зв'язку з вище викладеними результатами досліджень прийнято рішення проаналізувати результати з метою визначення кутових параметрів процесу зрушення використовувати не фактичні криві нахилів, горизонтальних деформацій та кривизни, а згладжені, одержувані з фактичних за допомогою відповідної математичної обробки. Зокрема, це можуть бути графіки деформацій, згладжені за допомогою "ковзного вікна". Такий прийом дозволяє однозначно визначити положення в мульді точок з критичними деформаціями земної поверхні.

На рис. 3.4 показаний приклад фактичної та згладженої кривої горизонтальних деформацій на спостережній станції №20 (лінія 2) шахти "Степова". Згладжування зроблено "ковзним вікном" з кроком 3. Як видно з рисунку, розміри зони, в якій фактичні деформації набувають значення близькі 0.5, більше за аналогічну зону у згладженої кривої.

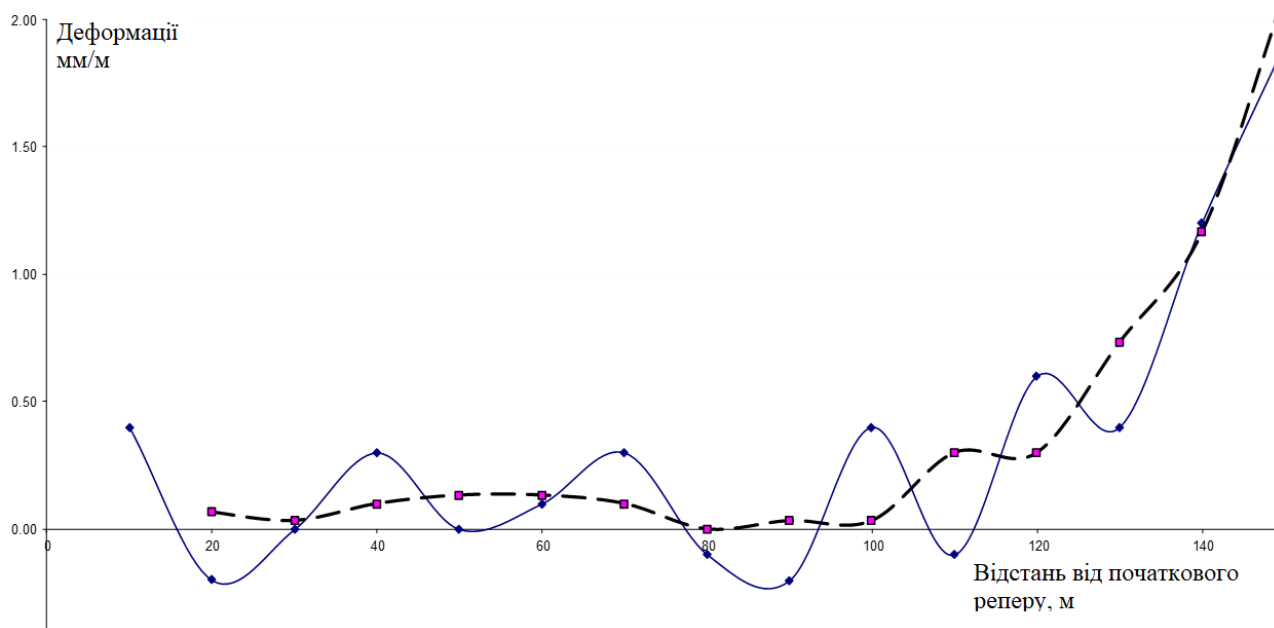


Рис. 3.4. Фактична та згладжена криві нахилів по спостережній станції №13 (лінія 1) шахти "Степова"

Слід зазначити, що нахили земної поверхні крайової частини мульди зрушення, зазвичай, варіюють у менших межах, ніж деформації розтягування.

Велика мінливість горизонтальних деформацій пояснюється тим, що при вимірі довжин інтервалів застосовуються жорсткі виска ВЖ-3, які встановлюються вертикально за допомогою круглого рівня, що має незначну точність. Вимірювання довжин виконується за двома штативною схемою, коли передній по ходу жорсткий схил при переході на наступний інтервал стає заднім. При цьому похибка установки цього виска впливає на вимірювані задній і передній інтервали однаково за величиною, але з протилежним знаком. Ці похибки мають випадковий характер і викликають коливання графіка деформацій від інтервалу до інтервалу. Особливо це помітно на ділянках з малими величинами деформацій, які можна порівняти з похибками вимірювання довжин (рис. 3.3).

Згладжування графіків за принципом "ковзного вікна" з кроком 3 певною мірою усуває випадкові коливання, при цьому згладжені значення деформацій для i -го інтервалу визначаються за формулою

$$\varepsilon_i = \frac{\varepsilon_{i-1} + \varepsilon_i + \varepsilon_{i+1}}{3},$$

де ε_{i-1} – деформація попереднього інтервалу; ε_i – деформація поточного інтервалу; ε_{i+1} – деформація наступного інтервалу.

За згладженими графіками горизонтальних деформацій та нахилів, побудованими за результатами натурних інструментальних маркшейдерських спостережень на спостережних станціях, наведених у табл. 3.2, визначено границі зони впливу та зони небезпечного впливу гірничих робіт на земній поверхні. По положенню названих меж визначено значення граничних кутів та кутів зрушення. При цьому зроблено припущення, що граничні кути і кути зрушення є спільними для всієї товщі порід, що підробляється, незалежно від наявності в ній шарів наносів і карбону (див. рис. 2.11).

Інше припущення, зроблене нами, у тому, що кутові параметри умов Західного Донбасу не поділяються залежно від елементів залягання гірських порід, тобто. кути падіння, повстання і простягання порід однакові. Підставою для цього є незначні величини кутів падіння гірських порід (до 5°), що дозволяє умовно вважати залягання пластів горизонтальним.

На шахтах Західного Донбасу відпрацювання вугільних пластів, як правило, здійснюється довгими стовпами по повстанню, але розкривання шахтних полів, розташування великих тектонічних порушень та інші фактори найчастіше викликають необхідність відпрацювання ділянок пластів падіння та простягання. Спостережні станції для вивчення процесу зрушення були закладені таким чином, що вони охоплюють практично всю різноманітність умов відпрацювання вугільних пластів. З цієї причини втрачається сенс у поділі кутових параметрів процесу зрушення для порід карбону в головних перерізах: по простяганню, по падінню і хресту простягання ($\delta_0, \gamma_0, \beta_0, \delta, \gamma, \beta, \psi_1, \psi_3, \psi_2$).

З урахуванням викладеного доцільно для умов Західного Донбасу прийняти загальні позначення для граничних кутів у корінних породах – δ_0 (замість $\delta_0, \gamma_0, \beta_0$), для кутів зрушення – δ (замість δ, γ, β), для кутів повних зрушень – ψ (замість

ψ_1, ψ_3, ψ_2).

Для кутових параметрів, загальних для всієї товщі, що підробляється, без поділу на породи наносів і карбону, визначених за згладженим кривим розподілу горизонтальних деформацій і нахилів поверхні, введемо наступні позначення:

ω_{0i} – уніфікований граничний кут, визначений за критерієм $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$;

$\omega_{0\varepsilon}$ – уніфікований граничний кут, визначений за критерієм $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$;

ω_i – уніфікований кут зрушення, визначений за критерієм $i = 4 \cdot 10^{-3}$;

ω_ε – уніфікований кут зрушення, визначений за критерієм $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$;

ψ – уніфікований кут повних зрушень.

Значення уніфікованих граничних кутів та кутів зрушення, встановлених за результатами маркшейдерських спостережень, наведено у табл. 3.1.

Дані, наведені у табл. 3.1 є основою для аналізу та встановлення кутових параметрів, що визначають границі зони впливу та небезпечного впливу очисних гірничих робіт шахт Західного Донбасу на земній поверхні.

Таблиця 3.1 – Значення уніфікованих граничних кутів та кутів зрушення по профільних лініях

Станція	Лінія	Граничні кути, град.			Кути зрушення, град.		
		ω_{0i}	$\omega_{0\varepsilon}$	середн.	ω_i	ω_ε	середн.
12	3	54	51	53	70	64	67
10	2	55	52	54	72	68	70
5	5	53	52	52	72	67	69.5
11	2	57	53	55	73	69	71
7	1	62	56	61	74	72	73
6	1	64	57	59	76	75	75.5
4	1	64	55	60	78	70	74
14	2	63	58	61	79	73	76
9	2	67	58	64	81	75	78
29	1	69	59	66	79	72	75.5
29	1	68	61	65	82	75	78.5
24	2	72	60	66	84	76	80

25	1	74	62	68	86	78	82
12	1	49	45	47	73	58	65.5
13	1	51	49	50	66	64	65
10	1	52	50	51	73	63	68
11	1	55	52	54	77	66	71.5
8	1	58	52	55	82	66	74
27	1	60	53	57	87	69	78
14	3	60	54	57	*	71	-
4	2	61	54	58	87	68	77.5
4	2	62	52	57	87	72	79.5
9	1	61	53	57	86	70	78
24	1	63	59	61	90	73	81.5
22	1	67	64	64	93	76	84.5
23	1	69	63	66	93	77	85
3	9	50	48	49	*	*	-
5	1	57	55	56	*	*	-
9	1	60	60	60	*	*	-
16	1	64	63	64	*	*	-
14	1	68	67	68	*	*	-

Примітка : * – критичні деформації відсутні.

Слід зазначити, що значення уніфікованих кутів ω_{0i} , $\omega_{0\varepsilon}$, ω_i і ω_ε табл. 3.1 дещо відрізняються від кутів, наведених у табл. 2.6, тому що кути визначені за згладженими графіками нахилів та горизонтальних деформацій земної поверхні, але загальні тенденції зміни кутових параметрів в обох таблицях однакові. Крім цього, у табл. 3.1 додано спостережні станції, які раніше не брали участь в аналізі кутових параметрів, але задовольняють умовам, викладеним в п. 3.2.

3.4 Вплив малих деформацій земної поверхні визначення параметрів зрушення

Чинна нормативна методика прогнозування впливу гірничих розробок на об'єкти, що підробляються [123], заснована на розрахунку очікуваних зрушень і деформацій земної поверхні в мульдї, межі якої визначаються по граничних

кутах або критичним (граничним) значенням деформацій. Вважається, що за межами мульди деформації відсутні, або настільки малі, що їх величини можна порівняти з помилками маркшейдерських вимірювань, та ними можна знехтувати.

З позицій вирішення більшості інженерних завдань, пов'язаних із підробкою поверхневих об'єктів, такий підхід виправданий. Однак можуть виникнути неординарні ситуації, коли йдеться про вплив гірничих розробок на положення пунктів геодезичної основи на земній поверхні або ведення гірничих робіт поблизу високотехнологічних виробництв, які потребують найсуворішого дотримання геометричних параметрів обладнання. У таких випадках малі, докритичні деформації поверхні можуть виявитися неприпустимими.

Аналіз результатів натурних спостережень на профільних лініях, закладених у головних перерізах мульди за напрямом просування очисного вибою (на шахтах Західного Донбасу цей напрямок, як правило, збігається з напрямком вхрест простягання вугільного пласта), виявив невідповідність розподілу виміряних горизонтальних зрушень загальноприйнятому. Теоретично горизонтальні зрушення повинні починатися з нуля над цілком з боку розрізної печі, збільшуватися до максимального позитивного значення, зменшуватися до нуля і далі – до максимального негативного значення і поступово збільшуватися до нуля над цілком з боку вибою лави. Це означає, що за межами зрушення мульди земна поверхня повинна залишатися непорушеною і нерухомою.

Нами встановлено, що над цілком з боку вибою лави значення зрушень, розраховані від опорних реперів, розташованих з боку розрізної печі, не набувають нульових значень. Невідповідність встановленого експериментально та теоретичного розподілу горизонтальних зрушень спостерігається на профільних лініях, розташованих з боку розрізної печі лави, і у яких розрахунок горизонтальних зрушень виконується від опорних реперів, розташованих над цілком у розрізної печі. Кількість кривих розподілу на графіці визначається кількістю серій інструментальних спостережень, виконаних у міру просування

очисного вибою лави.

Для ілюстрації цього на рис. 3.5 показано графіки горизонтальних зрушень, побудовані за результатами натурних вимірювань на спостережній станції №8 (шахта "Степова, 713-а та 715-а лави).

Можливі кілька причин виникнення встановленої невідповідності:

- порушення опорних реперів профільної лінії;
- помилки вимірювань при першому спостереженні, що виконується до початку відпрацювання лави для визначення вихідного положення реперів профільної лінії;
- помилки вимірювань при спостереженнях, наступних після першого спостереження;
- невстановлені закономірності зрушення земної поверхні.

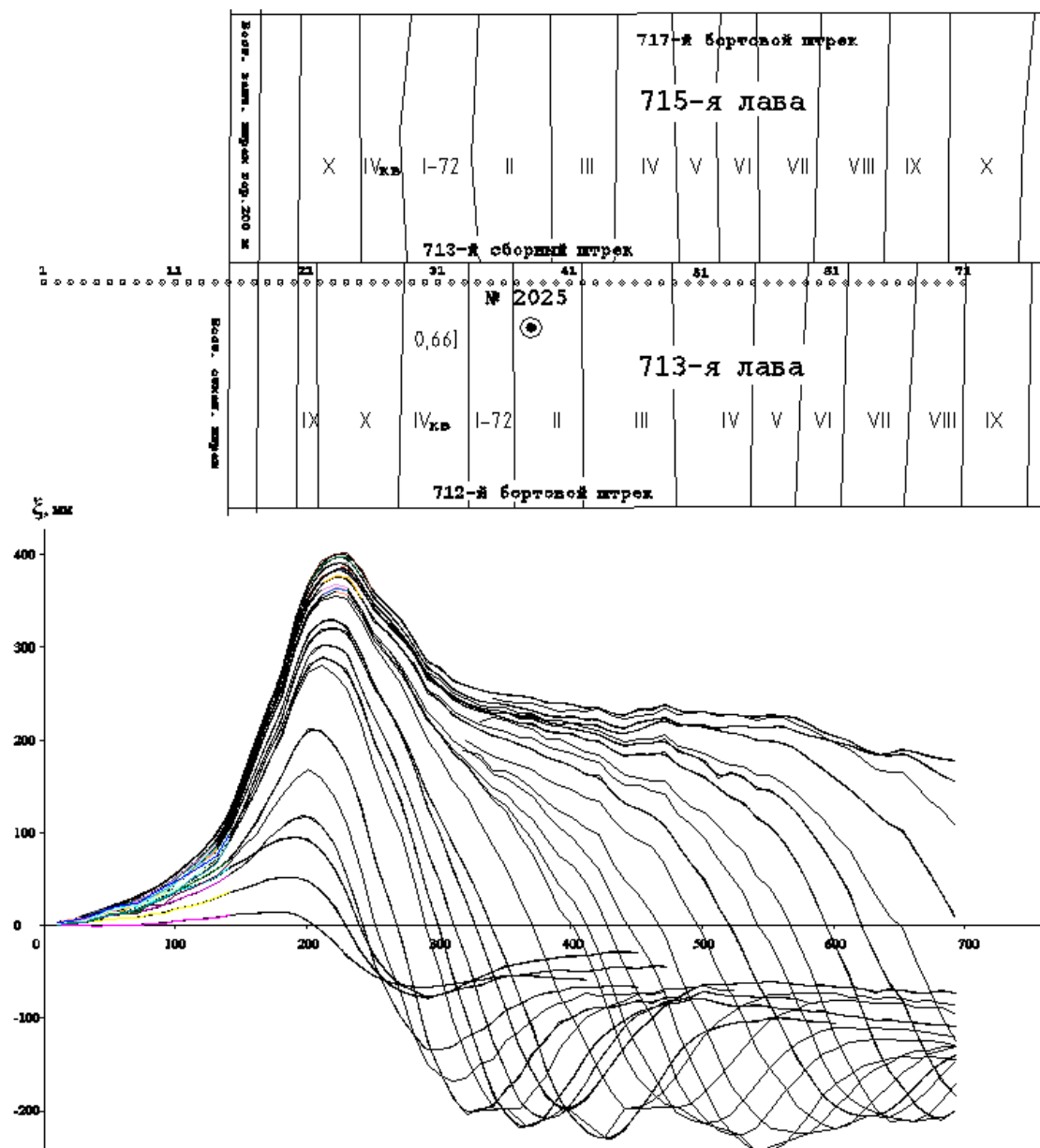


Рис. 3.5 Графік горизонтальних зрушень реперів спостережної станції №8 (лінія 1) шахти "Степова"

Перша з названих причин малоімовірна, тому що розподіл горизонтальних зрушень, подібний до того, що наведений на рис. 3.5 спостерігаються і на інших спостережних станціях. Крім цього, відмінності горизонтальних зрушень у правих частинах графіків на рис. 3.5 від нуля збільшуються по мірі розвитку процесу зрушення, а це означало б, що опорні реperi зазнають порушень перед

кожною серією інструментальних спостережень.

Вплив помилок вимірювань при першому спостереженні можна також виключити через, як уже зазначалося, повторення подібних відхилень на інших спостережних станціях, на яких виконувались незалежні вимірювання різними виконавцями. Ймовірність виникнення помилок вимірювань виключається суворим дотриманням методики вимірювань та врахуванням усіх впливових факторів шляхом введення відповідних поправок, про що свідчать журнали польових вимірювань та математичної обробки їх результатів. Названі факти дозволяють виключити і третю можливу причину невідповідності експериментальних та теоретичних розподілів.

Аналіз графіків на рис. 3.5 показує, що в їх лівій частині (з боку розрізної печі) відсутня перехідна ділянка, на якій горизонтальні зрушення дорівнюють нулю, і від якої вони починають збільшуватися. Цей факт призводить до висновку, що реальні зрушення, можливо, починаються до ділянки, на якій проводилися вимірювання і з цієї причини не були зафіксовані спостереженнями.

З графіка розвитку горизонтальних деформацій на тій же спостережній станції (рис. 3.6) видно, що до критичного значення $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$ інтервали між реперами профільної лінії зазнають незначні деформації розтягування, абсолютні значення яких менше 5 мм на 10 м, але мають місце на значному віддаленні від точки, прийнятої за границю мульди.

Згідно [49] величина горизонтального зрушення ξ репера профільної лінії визначається як різниця горизонтальної відстані D_1 від опорного репера до даного з першого спостереження і такої ж відстані D_2 з повторного (наступного) спостереження:

$$\xi = D_2 - D_1.$$

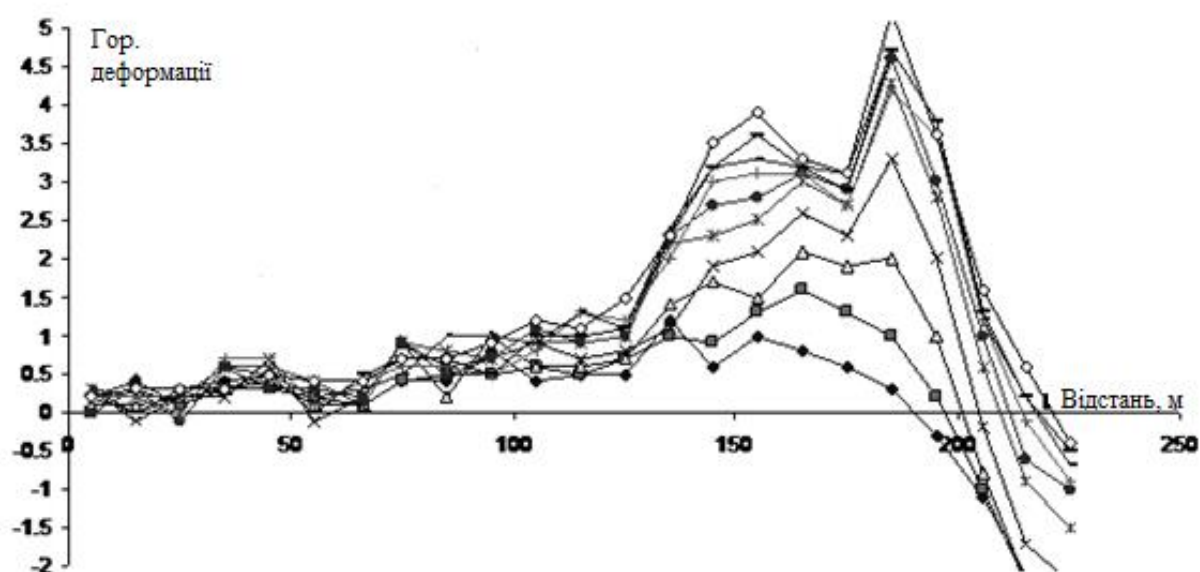


Рис. 3.6 Фрагмент графіка розвитку горизонтальних деформацій на профільній лінії спостережної станції №8

Величини D_1 і D_2 визначаються як сума наведених вимірних довжин інтервалів d_1 і d_2 відповідно з першого і наступних спостережень. Якщо подовження інтервалів на краю мульди менше критичного, вони виключаються із розрахунків. Але якщо таких інтервалів багато, то сума малих розтягувань одного знаку може призвести до значного накопичення їх на границі мульди. Ця обставина, на наш погляд, стала причиною відхилення правих ділянок кривих розподілу горизонтальних зрушень від нуля на рис. 3.6.

З урахуванням викладеного виконано розрахунок горизонтальних зрушень від нерухомих робочих реперів, що знаходяться над цілком з боку вибою лави, що рухається. Графік розподілу зрушень (рис. 3.7) показує, що максимальні значення при такому розрахунку зросли на 20-30% в залежності від ступеня розвитку процесу зрушення земної поверхні над очисним вибоєм, що рухається. На границі мульди з рухом вибою відбувається накопичення горизонтальних зрушень і на момент, коли ліва частина мульди повністю сформувалася, зрушення досягли 100 мм або 22% від величини максимального зрушення.

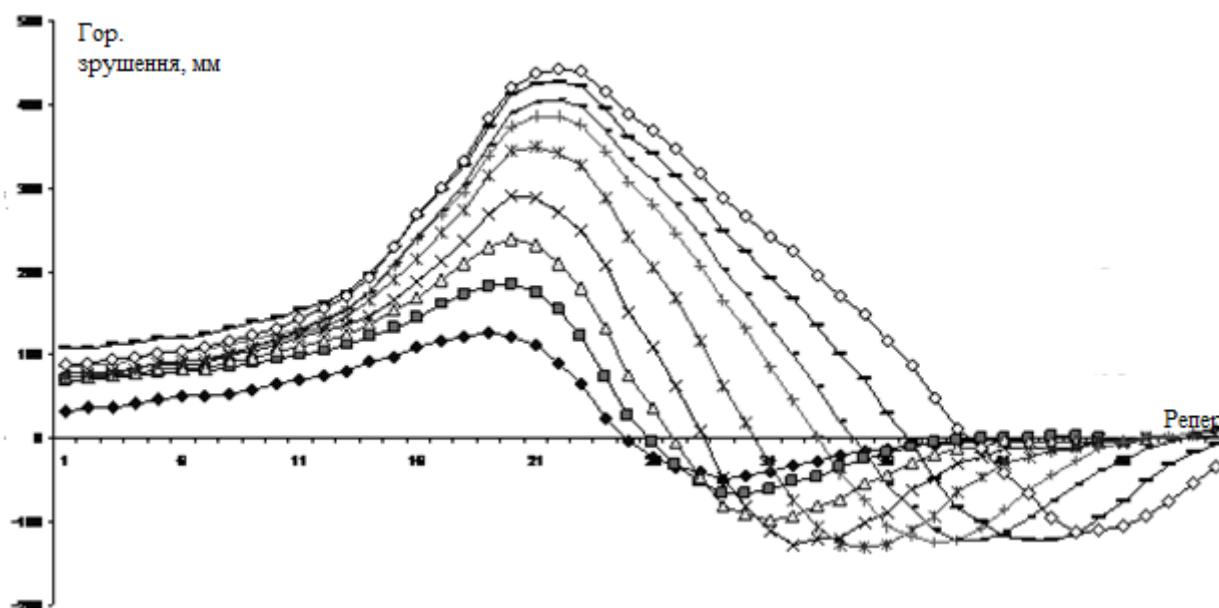


Рис. 3.7 Графік розподілу горизонтальних зрушень, розрахованих від нерухомих реперів над цілком з боку вибою лави, що рухається

Якщо простежити спадання горизонтальних зрушень у лівій частині графіка, можна оцінити, на яку відстань поширюється вплив очисної виробки на земну поверхню із боку розрізної печі лави. Очевидно, що цей вплив, виражений у малих, докритичних деформаціях поверхні, має місце на значній відстані від очисної виробки. Цей факт підтверджується Кулібабою С.Б, який досліджував вплив очисних робіт на вертикальні шахтні стволи [74].

Якщо наші висновки вірні, то виникає питання про надійність маркшейдерських підхідних пунктів та пунктів геодезичної основи на земній поверхні, які використовуються для вирішення найбільш відповідальних та високоточних маркшейдерських робіт. Навіть якщо ці пункти знаходяться за межами зони впливу очисних робіт, що визначаються по граничних кутах [123], не виключено, що їхнє становище насправді буде порушено. Це призведе до непоправних помилок маркшейдерських вимірів.

Інший аспект розглядуваного питання полягає у вивченні та встановленні закономірностей зрушення земної поверхні над очисними роботами вугільних шахт та розроблення заходів охорони підроблюваних об'єктів. Помилки

визначення горизонтальних зрушень через ігнорування малих деформацій на краю мульди зрушення можуть досягати значних величин. Причому ці помилки, як правило, занижують величини зрушень. Отже, виникає питання про об'єктивність оцінки впливу очисних робіт на земну поверхню та об'єкти, які на ній розташовані.

Зрушення земної поверхні є інтегральним відображенням процесів, що відбуваються в масиві гірських порід, що оточує очисну виробку. При вирішенні багатьох геомеханічних завдань використовуються геометричні параметри зрушення мульди на земній поверхні. Зокрема, по граничних кутах встановлюються границі зони впливу очисної виробки в масиві. Результати наших досліджень показують, що з боку розрізної печі вплив гірських робіт поширюється далеко за межі мульди зрушення, а, отже, і в масиві, що підробляється, деформації порід мають місце на значному віддаленні від границь очисної виробки. Встановлення закономірностей деформування гірських порід у цій галузі дозволить успішніше вирішувати питання охорони гірничих виробок, розрахунку їх кріплення та ін.

З наведених міркувань випливає, що методика непрямого визначення горизонтальних зрушень шляхом складання обмірюваних рулеткою абсолютних деформацій окремих інтервалів між реперами профільної лінії, не забезпечує надійного і однозначного визначення величин зрушень земної поверхні (включаючи і максимальні значення) над очисною виробку. На нашу думку для об'єктивної оцінки зрушень поверхні над ціликом з боку розрізної печі лави необхідно безпосередньо визначати положення робочих реперів профільної лінії щодо опорних. Це завдання може бути вирішено, якщо відстані до робочих реперів вимірювати світлодалекоміром, встановленим на опорному репері. При цьому опорний репер необхідно виносити якнайдалі за межі зони впливу очисної виробки.

Другий спосіб уникнути накопичення малих деформацій вимірюваних інтервалів полягає у безпосередньому координуванні реперів профільної лінії за

допомогою GNSS-технологій. Такі дослідження виконувались під керівництвом проф. Гавриленко Ю.М. (ДонНТУ), але точність позиціонування реперів при цьому не задовольняла вимогам [104].

3.5 Висновки до розділу 3

1. Геологічними та гідрогеологічними дослідженнями встановлено, що будова товщі гірських порід у Західному Донбасі характеризується такими загальними показниками:

– велика потужність наносів, що змінюється в широких межах (від 50 до 250 м і більше) з наявністю плавунів і обводнених пісків;

– значна мінливість геометрії поверхні карбону, на якій лежать наносні породи, що призводить до зміни співвідношення потужностей наносів і карбону в широких межах;

– полого, близьке до горизонтального, залягання вугільних пластів.

2. Дані випробування фізико-механічних властивостей гірських порід Західного Донбасу показали, що межа міцності на стиск $c_{жс}$ порід карбону на значно перевищує аналогічний показник порід наносів. Спостерігається зростання міцності порід із збільшенням глибини їхнього залягання: для алевролітів від 140 до 440 кг/см²; аргілітів – 65-240 кг/см²; пісковики – 210-870 кг/см².

3. Дослідження кутових параметрів процесу зрушення слід виконувати за результатами натурних інструментальних маркшейдерських спостережень на спостережних станціях, умови підробки яких задовольняють наступним вимогам:

- процес зрушення, що закінчився;
- повна підробка у напрямку, що збігається з напрямком профільної лінії;
- відсутність впливу тектонічних порушень;
- розташування профільної лінії в одному з головних перерізів мульди

зрушення або переріз близькому до нього;

- первинна підробка земної поверхні.

Цим вимогам відповідають результати спостережень на 19 спостережних станціях, що охоплюють практично весь діапазон зміни умов вугільних пластів, а саме:

- потужність вугільних пластів, що розробляються 0,60-1,20 м
- глибина розробки пластів 100-550 м;
- потужність наносів 50-200 м; кут падіння пластів 2-5°;
- напрямок відпрацювання лав по повстанню, падіння і простягання залягання порід.

4. З метою визначення кутових параметрів процесу зрушення доцільно виконувати аналіз не фактичних кривих нахилів та горизонтальних деформацій, а згладжених, одержуваних із фактичних графіків за допомогою відповідної математичної обробки. Це обґрунтовується тим, що величини критичних деформацій, за якими визначаються границі зони впливу та зони небезпечного впливу на земній поверхні, можна порівняти з точністю маркшейдерських вимірювань, внаслідок чого границі знаходяться не в конкретних точках, а на деякому інтервалі.

5. В результаті аналізу згладжених графіків нахилів та горизонтальних деформацій встановлено значення уніфікованих граничних кутів та кутів зрушення по 31 профільній лінії, які є основою для аналізу та встановлення кутових параметрів, що визначають границі зон впливу та небезпечного впливу очисних гірничих робіт шахт Західного Донбасу на земній поверхні.

6. Маркшейдерські інструментальні спостереження за зрушенням земної поверхні над ціликом з боку розрізної печі очисної виробки вказують на наявність докритичних, малих за величиною деформацій. Ці деформації спостерігаються на значній відстані від границь мульди зрушення, побудованих за прийнятими критеріями. Сумарний вплив малих деформацій на краю мульди становить 20-30% від максимального позитивного горизонтального зрушення в

мульдї.

Недооцїнка впливу малих деформацїй може призвести до порушення положення пунктїв геодезичної основи на земній поверхнї, необґрунтованих інженерних рїшень щодо охорони поверхневих об'єктїв вїд шкїдливого впливу гїрничих розробок.

7. Для уточнення закономірностей зрушення земної поверхнї та гїрських порїд з боку розрїзної печї очисної виробки необхідно змїнити методику маркшейдерських вимїрювань на спостережних станцїях з можливістю безпосереднього визначення зрушення реперїв профїльних лїній або координування їх положення щодо вїддалених опорних пунктїв.

РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ КУТОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЗРУШЕННЯ У ЗАХІДНОМУ ДОНБАСІ

4.1 Дослідження граничних кутів

Об'єкт земної поверхні вважається підроблюваним очисними роботами в тому випадку, якщо він знаходиться в межах зони впливу очисної виробки. Границя зони впливу очисної виробки на земній поверхні визначається за чотирма точками, розташованими в головних перерізах мульди зрушення (дві точки на краю напівмульди над розрізною виробкою і на краю напівмульди з боку зупинки очисних робіт і дві точки в напівмульдах над виїмковими штреками) і визначаються за граничними кутами. Насправді це замкнута лінія, що проходить через точки земної поверхні на краю мульди, в яких горизонтальні деформації і нахили мають значення визначаються за критерієм $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$ та $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$.

Помилка визначення границь зони впливу та зони небезпечного впливу залежить від точності встановлення кутових параметрів процесу зрушення. При цьому зі збільшенням глибини розробки величина помилки зазначених границь зростає. Наприклад, при глибині ведення гірничих робіт 100м похибка граничного кута дорівнює 1° зумовлює помилку визначення границі зони впливу 2 м, а за глибини 700 м – 15 м. Отже, з переходом на великі глибини розробки вугільних пластів завдання уточнення кутових параметрів процесу зрушення стає дуже актуальним.

Дослідження граничних кутів виконувалося за такою схемою:

- аналіз значень уніфікованих кутів, встановлених безпосередньо за даними натурних інструментальних спостережень на профільних лініях спостережних станцій (табл. 3.1) та їх середньоквадратичних відхилень;
- дослідження залежності кутів від основних факторів, що впливають, а саме: залежність кутових параметрів від потужності наносів, глибини ведення гірничих робіт і розташування головного перерізу мульди, в якому визначається

кутовий параметр, стосовно лави (див. п. 2.3);

– встановлення та аналіз граничних кутових параметрів у карбоні з використанням нормативного значення граничного кута в наносах (для умов Західного Донбасу $\varphi_0 = 45^\circ$);

– оцінка впливу похибок кутових параметрів на точність встановлення меж впливу очисної виробки на земній поверхні;

– обґрунтування значень граничних кутів для умов Західного Донбасу за критерієм мінімальних похибок встановлення меж впливу очисної виробки на земній поверхні.

Як було показано у п. 2.3 залежність кутових параметрів процесу зрушення від умов підробки земної поверхні в загальному вигляді характеризується виразом:

$$\delta_0 = f(H; h, A),$$

де H – глибина ведення гірничих робіт; h – потужність наносів; A – критерій, що визначає за яким із напрямів (над виїмковими штреками, над розрізною піччю, над лінією зупинки очисного вибою) визначається кутовий параметр.

Як основний метод дослідження кутових параметрів нами прийнято метод статистичного аналізу, а саме: кореляційний аналіз досліджуваних параметрів на предмет їх взаємозв'язку та регресійний аналіз для встановлення найбільш ймовірного виду залежності кутових параметрів від факторів, що впливають. Для зручності виконання аналізу кутових параметрів складено таблицю (Додаток Г), в якій всі необхідні дані розподілені відповідно до критерію A : над виїмковими штреками; над розрізною піччю; над лінією зупинки очисного вибою.

4.1.1. Аналіз встановлених експериментально уніфікованих граничних кутів

Наведені у таблиці 3.1 значення уніфікованих граничних кутів, встановлених за результатами натурних інструментальних спостережень, вказують на те, що кути, визначені за критерієм $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$, менші за кути,

відповідно критерію $\varepsilon=0,5 \cdot 10^{-3}$. Різниця названих кутів становить 0-12° при середньому значенні 5,2°.

Середні значення кутів ω_{0i} і $\omega_{0\varepsilon}$ для аналізованих спостережних станцій становлять відповідно 69,5° і 55,7°.

За значеннями кутів ω_{0i} і $\omega_{0\varepsilon}$ розраховані середні значення кутів ω_{0cp} , наведені в таблиці 3.1. Ці кути мають усереднене значення 58,5°.

Середньоквадратичні відхилення кутів ω_{0i} і $\omega_{0\varepsilon}$, ω_{0cp} від їх середніх значень становлять $\pm 6,4^\circ$, $\pm 5,1^\circ$, $\pm 5,1^\circ$ відповідно.

4.1.2. Аналіз залежності встановлених експериментально уніфікованих граничних кутів від потужності наносів

Апріорі в основу досліджень покладемо загальноприйняті уявлення про граничні кути, відображені в чинному нормативному документі [123], а саме: граничні кути не залежать від глибини ведення гірничих робіт і приймають фіксовані роздільні значення в породах наносів і корінних породах. Для умов Західного Донбасу граничні кути в наносах $\varphi_0 = 45^\circ$, у корінних породах $\delta_0 = 65^\circ$.

На початковому етапі дослідження граничних кутів припускаємо, що граничний кут у наносах φ_0 відомий і дорівнює 45° [123].

За значеннями глибини розробки та потужності наносів для умов кожної спостережної станції, поданої в таблиці 3.1 були побудовані вертикальні розрізи (рис. 4.1), на яких від верхнього кінця лінії проведеної під експериментально встановленим кутом ω_0 проведена лінія під кутом $\varphi_0 = 45^\circ$ до перетину з контактом наносів і карбону. Нижній кінець цієї лінії з'єднувався відрізком з границею очисної виробки на розрізі. Графічно визначений кут між відрізком і горизонтальною лінією представляє граничний кут δ_0 в корінних породах (карбоні).

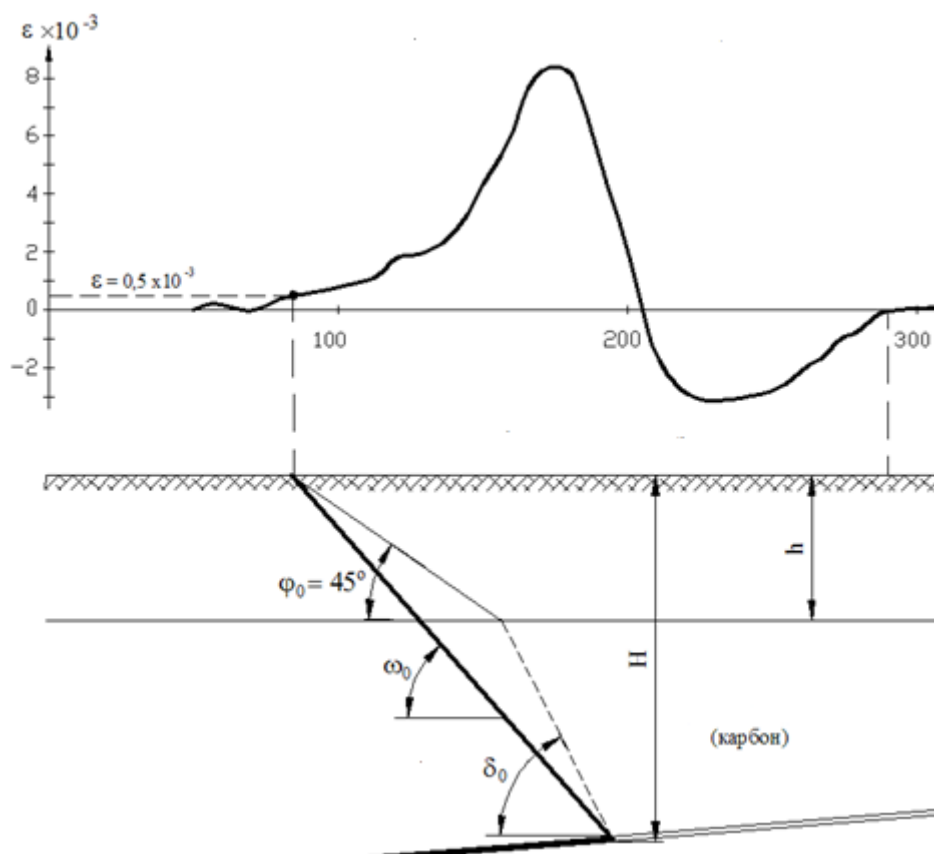


Рис. 4.1 Схема визначення на розрізі значення граничного кута δ_0 по відомих кутах ω_0 і φ_0

Значення визначених графічним способом кутів δ_{0i} , $\delta_{0\epsilon}$, відповідних критеріям $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$ и $\epsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$, а так само середнього кута δ_{0cp} наведені в табл. 4.1.

Внаслідок аналізу даних табл. 4.1 встановлено, що величини граничних кутів змінюються в широких межах: значення кутів δ_{0i} приймають значення в діапазоні $58-83^\circ$; $\delta_{0\epsilon} - 55-85^\circ$. Слід зазначити, що у всіх випадках граничні кути, визначені за критерієм нахилу більше кутів, відповідних критерію горизонтальних деформацій. У середньому їхня різниця становить 6° .

Як було показано в роботі [80], кутові параметри зрушення земної поверхні мають тенденцію змінюватись в залежності від глибини розробки вугільного пласта. Нами виконано дослідження кутів δ_0 на предмет такої залежності.

Таблиця 4.1 – Значення граничних кутів δ_{0i} , $\delta_{0\varepsilon}$, δ_{0cp} за профільними лініями

Станція	Лінія	Граничні кути, град			Станція	Лінія	Граничні кути, град		
		δ_{0i}	$\delta_{0\varepsilon}$	δ_{0cp}			δ_{0i}	$\delta_{0\varepsilon}$	δ_{0cp}
12	3	58	55	57	11	1	58	52	55
10	2	61	59	60	8	1	66	58	62
5	5	63	61	62	27	1	67	59	63
11	2	65	59	63	14	3	65	58	62
7	1	64	60	62	4	2	71	58	65
6	1	68	68	68	4	2	72	59	66
4	1	73	57	65	9	1	72	59	66
14	2	72	68	70	24	1	73	61	67
9	2	74	68	71	22	1	80	64	72
29	1	76	69	73	23	1	78	67	73
29	1	77	70	72	3	9	77	76	77
24	2	80	73	77	5	1	63	64	64
25	1	82	79	81	9	1	76	75	76
12	1	58	49	54	16	1	71	69	70
13	1	56	51	54	14	1	83	85	84
10	1	57	53	55					

На рис. 4.2. показано розподіл величин $\delta_{0\varepsilon}$ залежно від глибини розробки H . Шляхом підбору встановлено, що цей розподіл характеризується поліномом другого ступеня:

$$\delta_{0\varepsilon} = -0,00012 \cdot H^2 + 0,1 \cdot H + 47,9,$$

при цьому тіснота зв'язку між параметрами δ_{0i} і H становить $R = 0,38$.

Слабковиражений характер кореляції має також залежність $\delta_{0\varepsilon}$, δ_{0i} від H , для яких коефіцієнти R відповідно дорівнюють 0,6 і 0,5. Максимальне відхилення величин граничних кутів лінії апроксимації становить 17° .

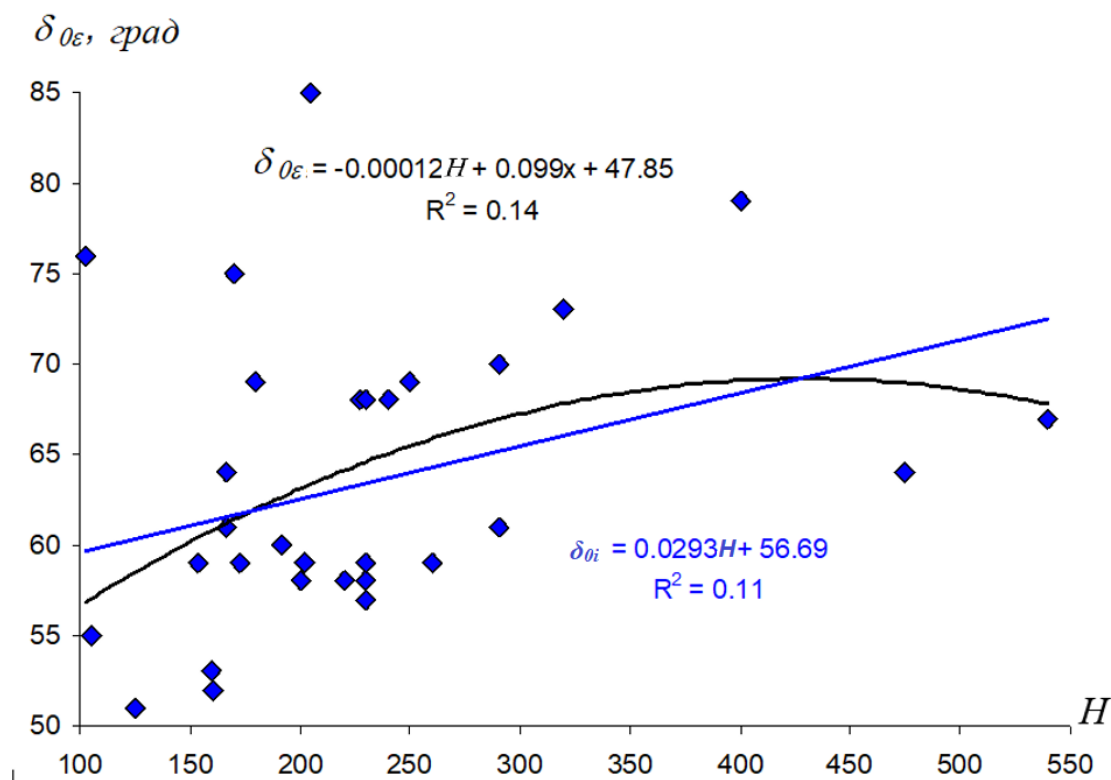


Рис. 4.2 Залежність граничних кутів $\delta_{0\varepsilon}$ від глибини розробки H

Виконані дослідження вказують на високу ймовірність виникнення грубих помилок щодо визначення границь зони впливу очисних робіт на земній поверхні, якщо використовувати фіксоване нормативне значення граничного кута φ_0 .

Враховуючи отримані результати, виконаємо дослідження уніфікованих, експериментально встановлених граничних кутів для відповіді на питання щодо положення границі зони впливу від потужності порід наносів.

Для товщі, що складається з наносів і карбону, уніфікованих для всієї товщі граничний кут ω_0^p розраховується за формулою (рис. 4.3):

$$\operatorname{ctg} \omega_0^p = \frac{h}{H} \operatorname{ctg} \varphi_0 + \frac{H-h}{H} \operatorname{ctg} \delta_0 = \frac{h}{H} (\operatorname{ctg} \varphi_0 - \operatorname{ctg} \delta_0) + \operatorname{ctg} \delta_0.$$

З урахуванням того, що $\varphi_0 = 45^\circ$ та $\delta_0 = 65^\circ$ отримаємо

$$\operatorname{ctg} \omega_0^p = 0,533 \frac{h}{H} + 0,466. \quad (4.1)$$

З виразу (4.1) випливає, що зі збільшенням потужності наносів має відбуватися зменшення уніфікованих граничного кута та існує пряма залежність

між співвідношенням h/H і значенням кута ω_0 .

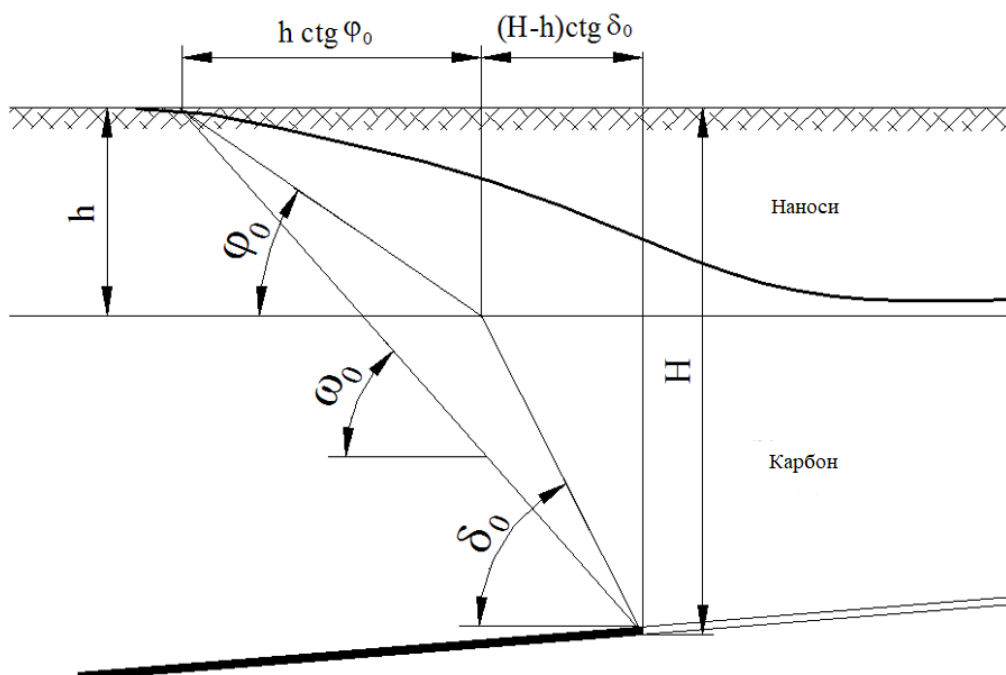


Рис. 4.3 Схема, що ілюструє зв'язок уніфікованих граничних кутів з граничними кутами в наносах та корінних породах

З даних таблиці Г-1 (Додаток Г) видно, що на проаналізованих станціях спостереження співвідношення h/H змінюється в межах від 0,28 до 0,62, отже, повинна простежуватися залежність ω_0 від h .

Ще більш показова, на наш погляд, залежність ω_0 від h має характеризуватися співвідношенням $h/(H-h)$, яке змінюється в межах від 0,38 до 1,65.

На рис 4.4 і 4.5 показаний розподіл значень ω_0 від (h/H) і ω_0 від $h/(H-h)$, побудовані за даними таблиці Г-1 (Додаток Г) (в якості кутів ω_0 прийняті значення ω_{0e} які найбільш частіше використовуються при встановленні границь зони впливу гірничих розробок). Тут же показані розподіли кутів ω_0^p , розрахованих відповідно до [123] за формулою (4.1).

Аналіз графіків на рис. 4.4, 4.5 вказує на відсутність явної залежності між величинами кутів ω_0 і співвідношеннями (h/H) і $h/(H-h)$. У той самий час можна констатувати, що слабка залежність (коефіцієнт кореляції $R = 0.25$) між цими величинами (рис. 4.5) аналогічна теоретичному розподілу (4.1).

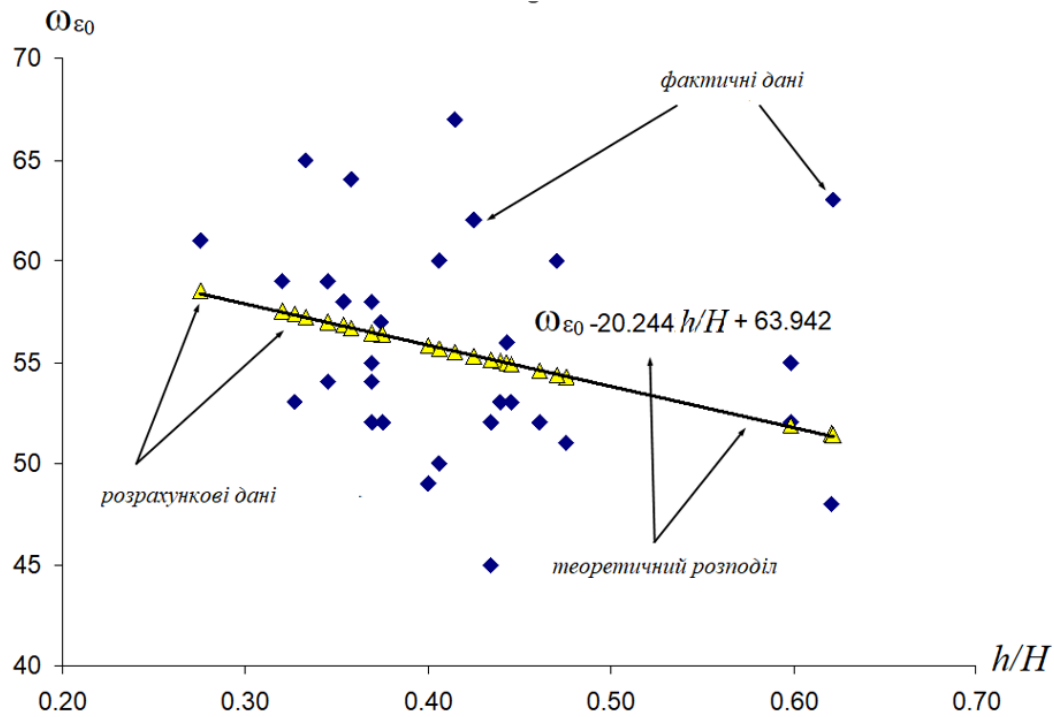


Рис. 4.4 Розподіл встановлених експериментально кутів $\omega_{0\varepsilon}$ (град.) і розрахованих кутів ω_0^P залежно від співвідношення (h/H)

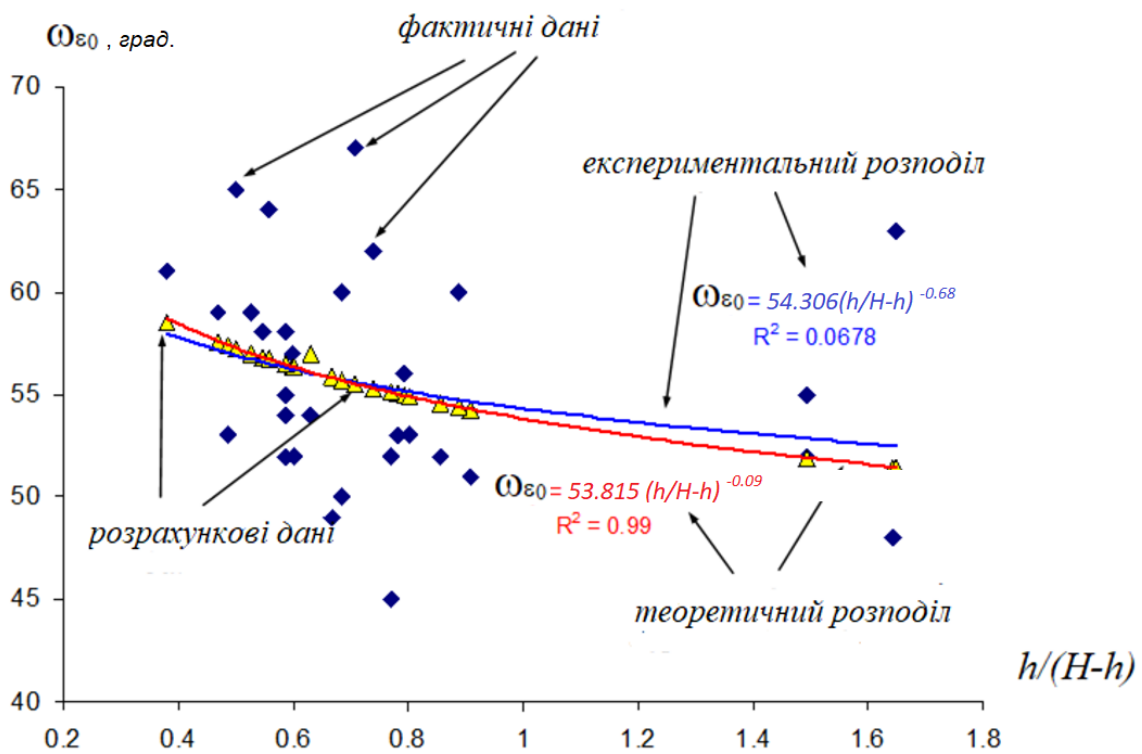


Рис. 4.5. Розподіл встановлених експериментально кутів $\omega_{0\varepsilon}$ і розрахованих кутів ω_0^P залежно від співвідношення $h/(H-h)$

Аналіз залежності кутів ω_0 безпосередньо від потужності наносів (див. графік на рис. 4.6) призводить до суперечливого висновку про існування досить близького зв'язку між досліджуваними величинами. Тіснота зв'язку характеризується коефіцієнтом кореляції $R = 0,81$.

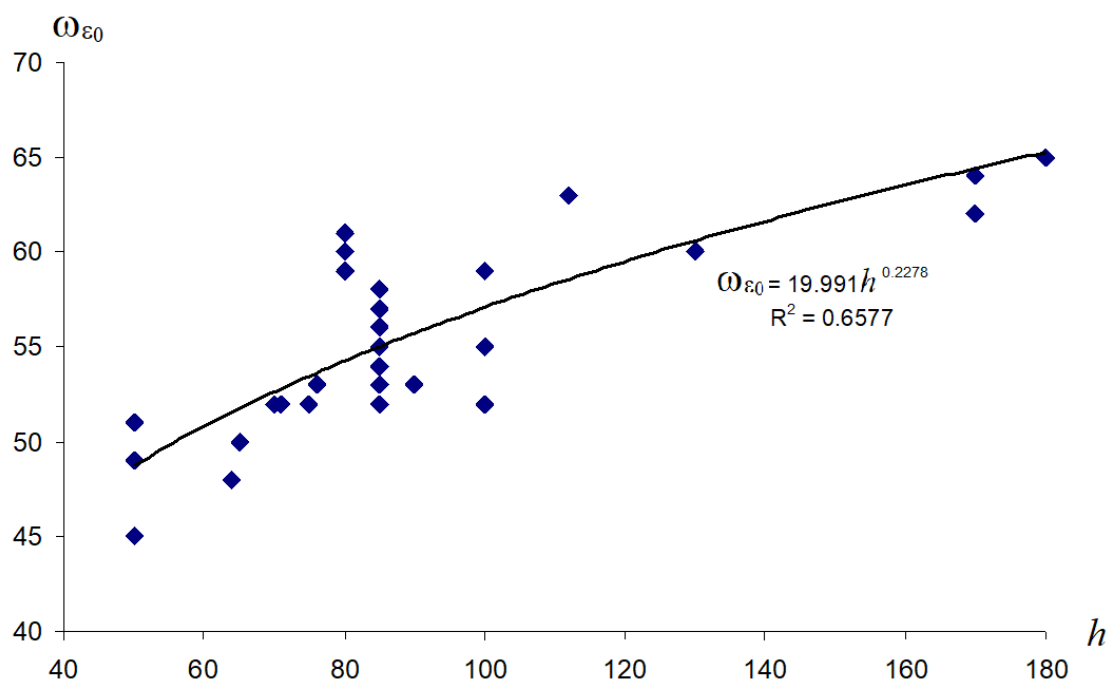


Рис. 4.6 Розподіл встановлених експериментально кутів $\omega_{0\varepsilon}$ залежно від потужності наносів h

На нашу думку, відповідь на це питання, криється в особливостях геологічної будови товщі порід у Західному Донбасі. Якщо проаналізувати, як змінюються наноси за площею родовища, можна дійти висновку, що потужність наносів зростає із зростанням глибини залягання вугільних пластів. Про це свідчать дані, наведені у таблиці Г-1 (Додаток Г). Оскільки проаналізовані спостережні станції характеризуються досить широким діапазоном гірничо-геологічних умов відпрацювання вугільних пластів на шахтах Західного Донбасу, дані таблиці Г-1 (Додаток Г) можна вважати обґрунтованими, тільки для умов розглянутих в роботі спостережних станцій. Це ілюструється графіком, представленим на рис. 4.7.

Залежність потужності наносів від глибини H характеризується коефіцієнтом кореляції $R = 0,86$.

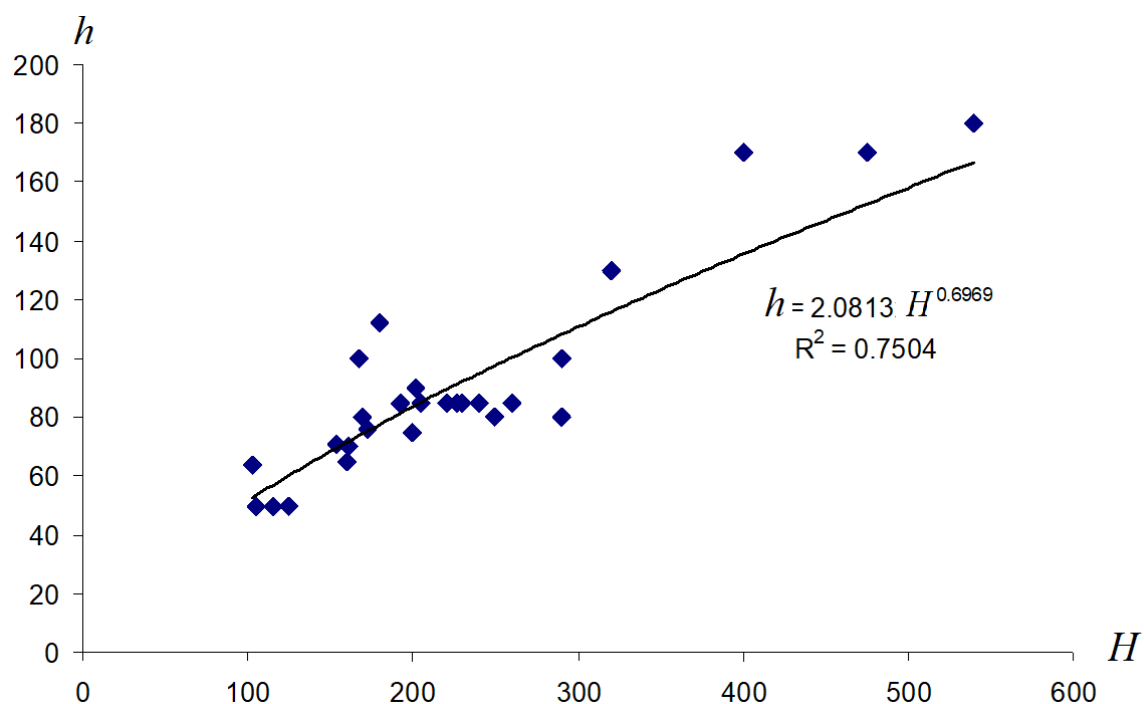


Рис. 4.7 Залежність потужності наносів від глибини H

Якщо уніфіковані граничні кути $\omega_{0\varepsilon}$ залежить від потужності наносів, а потужність наносів h залежить від глибини H , то логічно припустити, що кути $\omega_{0\varepsilon}$ також залежать від глибини. Для ілюстрації вірності цього припущення на рис. 4.8 показані суміщені графіки рисунків 4.6 та 4.7.

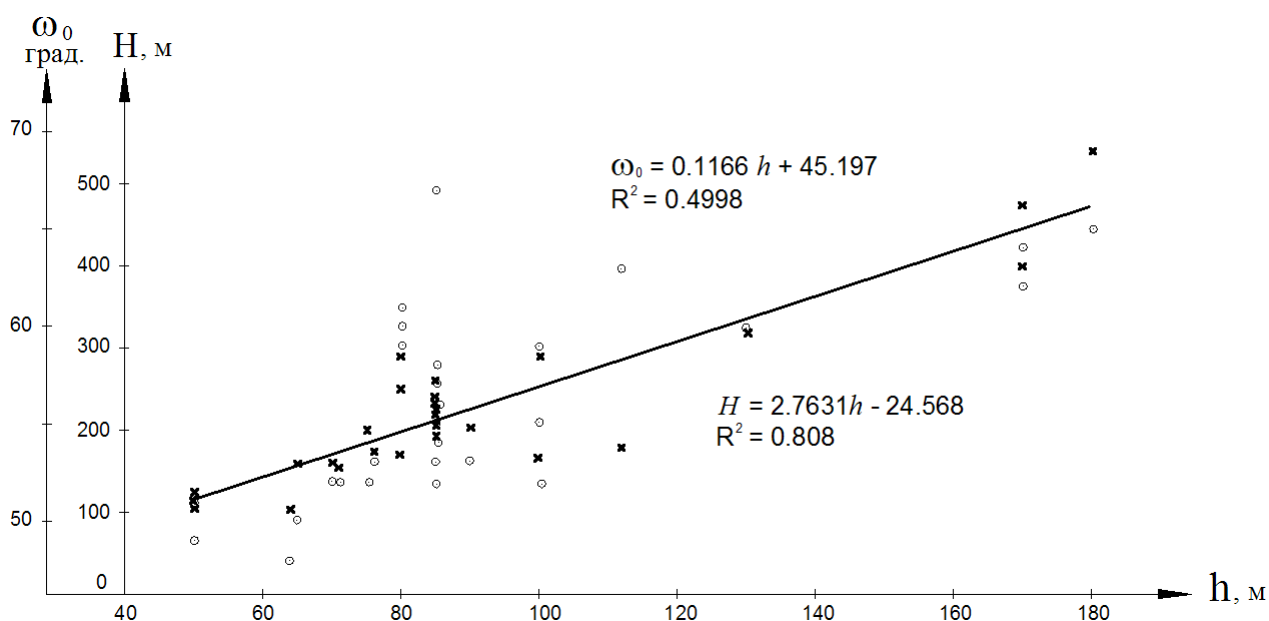


Рис. 4.8 Розподіл встановлених експериментально кутів $\omega_{0\varepsilon}$ і глибини H

залежно від потужності наносів h

На обох графіках прийнято лінійний вигляд апроксимуючої функції. Графік на рис. 4.7 видозмінений – по осі абсцис відкладались значення h , а по осі ординат – значення H . Через зміну масштабу осі H графіка залежності H від h отримано поєднання ліній апроксимації.

Отриманий суміщений графік дає підставу припустити, що уніфікованих граничні кути $\omega_{0\epsilon}$ є функцією від глибини розробки. Це ствердження узгоджується із прийнятим напрямом досліджень (п. 2.3).

Нами виконано аналіз залежності уніфікованих граничних кутів ω_0 , визначених за критеріями нахилів та горизонтальних деформацій, та середніх кутів ω_{0cp} (таблиця Г-1, Додаток Г) від глибини розробки. Графіки розподілів ω_{0i} , $\omega_{0\epsilon}$, ω_{0cp} та їх залежностей від глибини розробки представлені на рис. 4.9.

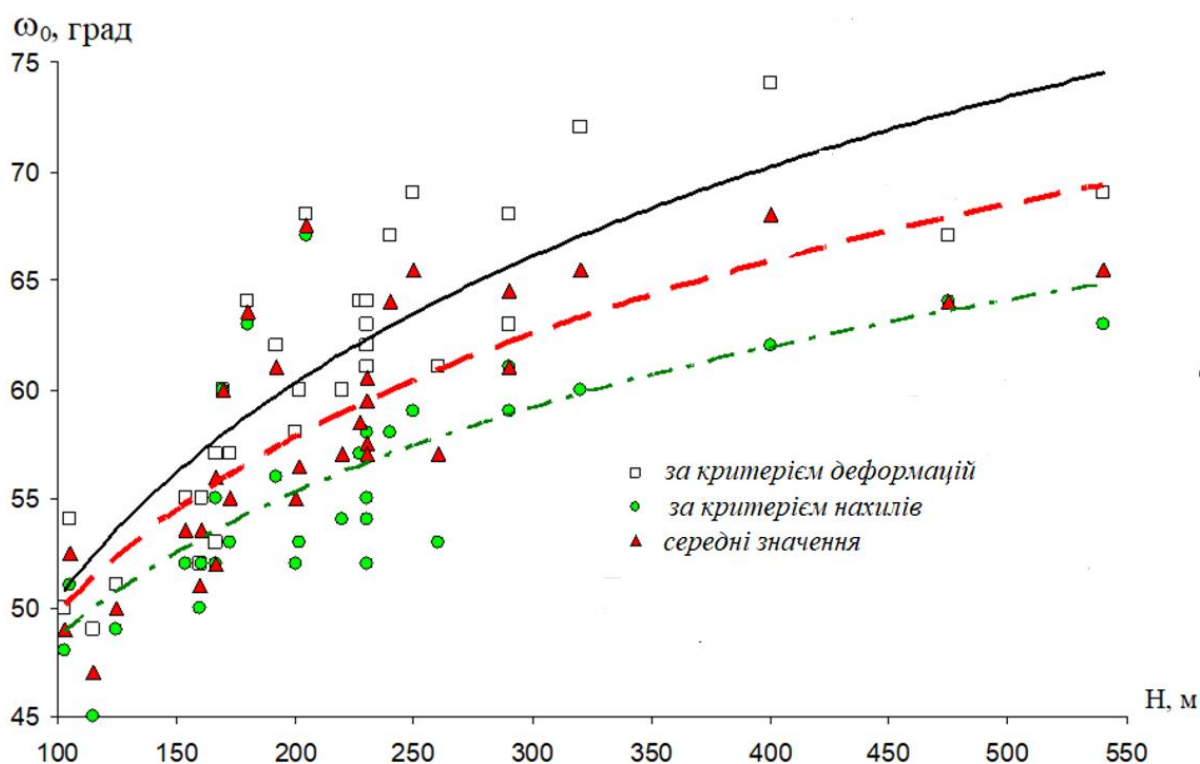


Рис. 4.9 Залежність уніфікованих граничних кутів ω_0 визначених за критеріями нахилів, горизонтальних деформацій, та середніх кутів від глибини H

Отримані залежності характеризуються такими коефіцієнтами кореляції: за критерієм нахилів – 0,88; за критерієм горизонтальних деформацій – 0,72; середні – 0,79. Максимальне відхилення значень кутів лінії апроксимації склало – 7°.

Порівняння залежності на рис. 4.9 з аналогічним графіком на рис. 4.2 показує, що у варіанті залежності граничних кутів ω_0 від глибини H спостерігається набагато тісніший зв'язок, ніж у варіанті залежності: $\delta_{0\epsilon}$ від H (при фіксованому нормативному значенні кута $\varphi_0 = 45^\circ$). В залежностях $\omega_{0\epsilon}$ від співвідношення (h/H) та $\omega_{0\epsilon}$ від співвідношення $h/(H-h)$, показаних на рис. 4.4, 4.5, коефіцієнти кореляції набувають ще нижчих значень. Такий результат призводить до висновку про закономірну зміну уніфікованих граничних кутів зі збільшенням глибини розробки.

На підставі виконаних досліджень можна зробити другий попередній висновок про те, що використання встановлених експериментально уніфікованих граничних кутів для позначення границь зони впливу очисної виробки на земній поверхні призведе до менших похибок, ніж використання окремих граничних кутів у породах наносів та карбону.

Таким чином, можна з високим ступенем достовірності стверджувати, що уніфіковані для всієї товщі, що підробляється, граничні кути зрушення земної поверхні в умовах Західного Донбасу практично не залежать від потужності наносів, а основним геологічним фактором, що впливає на величини кутів, є глибина розробки вугільних пластів.

Як було показано в роботах [78, 80], значення кутових параметрів зрушення земної поверхні до певної міри залежать від того, в якому перерізі мульди зрушення вони визначаються. Зокрема показано, що над розрізною піччю, з боку виїмкових штреків та в районі зупинки очисних робіт одні й ті самі кутові параметри набувають різних значень. Це ствердження покладено в основу подальших досліджень граничних кутів у Західному Донбасі.

Подані у табл. 4.1 проаналізовані параметри систематизовані залежно від

розташування профільних ліній реперів щодо границь очисної виробки: над виїмковими штреками, над розрізною піччю та над лінією зупинки очисного вибою. Відповідно до цієї класифікації побудовано графік залежності уніфікованих граничних кутів ω_{0i} у названих зонах від глибини H (рис. 4.10).

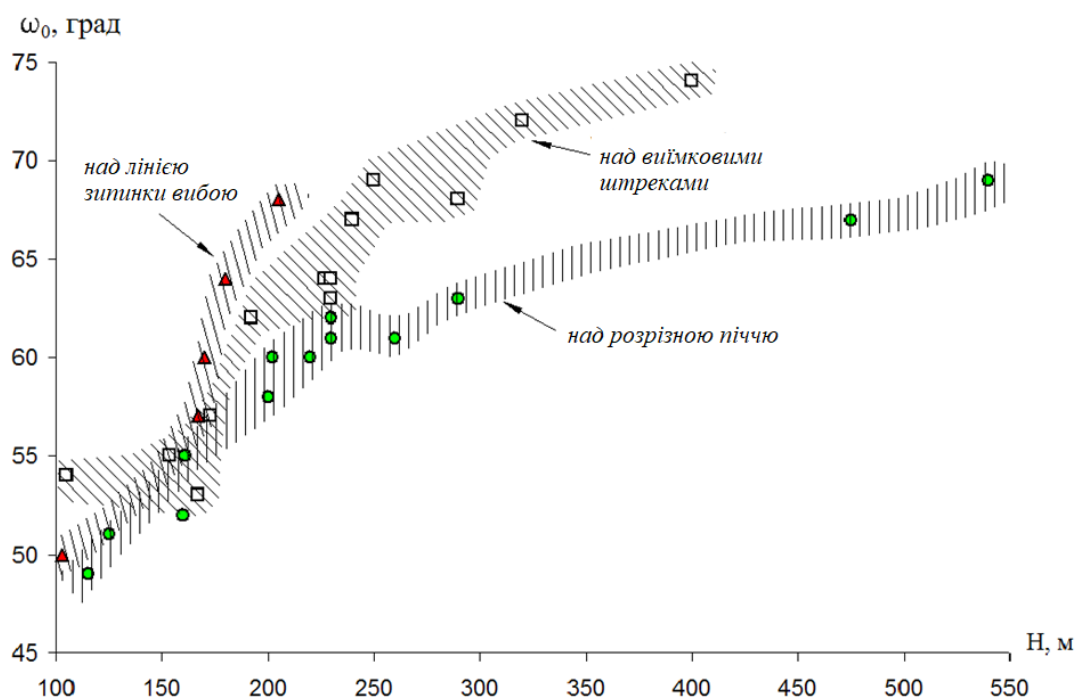


Рис. 4.10 Залежність уніфікованих граничних кутів ω_{0i} над штреками, розрізною піччю та лінією зупинки очисного вибою від глибини H

З графіку видно, що в загальній сукупності кутів ω_0 виділяються три окремі зони, відповідні названим вище напрямкам. З цієї причини було виконано аналіз кутів у кожній із зон. Графіки розподілу значень уніфікованих кутів ω_0 від глибини H наведені на рис. 4.11-4.13.

Аналітичні залежності уніфікованих граничних кутів від глибини підробки мають такий вигляд:

– над виїмковими штреками

$$\omega_{0i} = 18,50 \ln(H) - 36,3; \quad (4.2)$$

$$\omega_{0\varepsilon} = 9,9 \ln(H) + 3,22; \quad (4.3)$$

– над розрізною піччю

$$\omega_{0i} = 12,72 \ln(H) - 9,68; \quad (4.4)$$

$$\omega_{0\varepsilon} = 11,29\text{Ln}(H) - 7,19; \quad (4.5)$$

– над лінією зупинки очисних робіт

$$\omega_{0i} = 24,53\text{Ln}(H) - 64,8; \quad (4.6)$$

$$\omega_{0\varepsilon} = 26,22\text{Ln}(H) - 74,6. \quad (4.7)$$

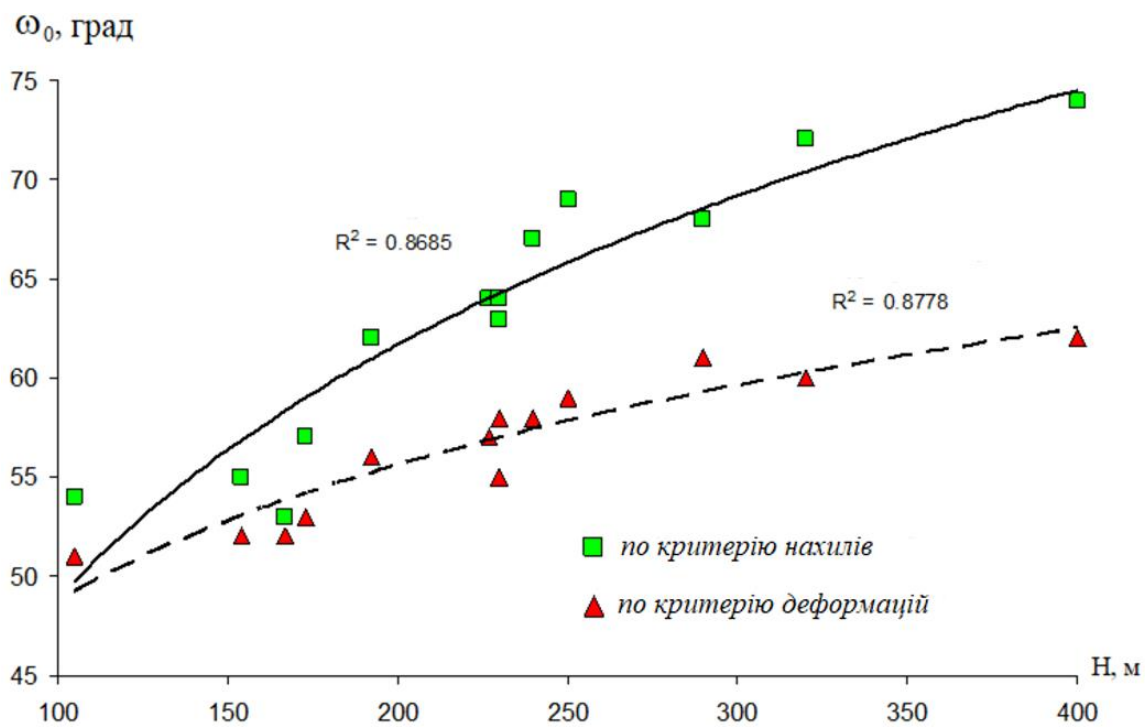


Рис. 4.11 Залежність уніфікованих граничних кутів ω_{0i} , $\omega_{0\varepsilon}$ від глибини розробки над виїмковими штреками

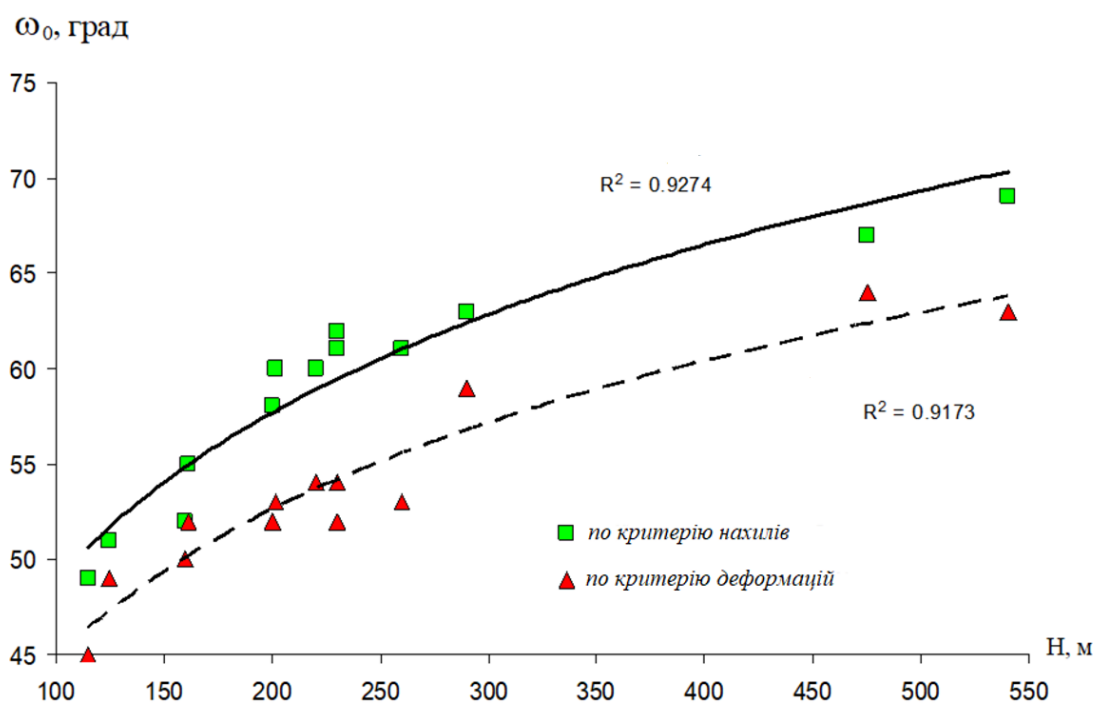


Рис. 4.12 Залежність уніфікованих граничних кутів ω_{0i} , ω_{0e} від глибини розробки над розрізною піччю

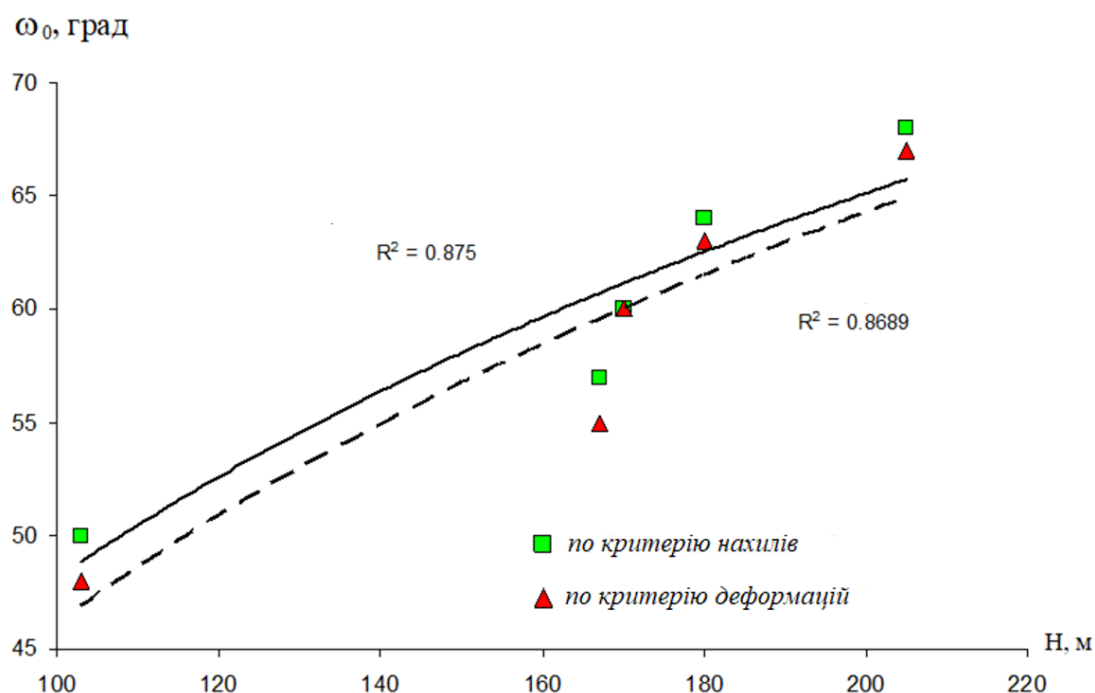


Рис. 4.13 Залежність уніфікованих граничних кутів ω_{0i} , ω_{0e} від глибини розробки над лінією зупинки очисного вибою

На підставі дослідження залежності уніфікованих для всієї товщі порід граничних кутів можна зробити такі висновки:

– використання уніфікованих граничних кутів в умовах Західного Донбасу дозволяє визначати границі зони впливу на земній поверхні з більшою точністю та однозначністю порівняно з роздільними фіксованими граничними кутами в породах наносів та карбону;

– уніфікованих граничні кути мають виражену тенденцію до збільшення із зростанням глибини розробки вугільних пластів; залежність величин кутів від глибини із високим ступенем ймовірності описується логарифмічними рівняннями;

– граничні кути, встановлені за критерієм нахилів менші за кути, визначених за критерієм горизонтальних деформацій, отже, і розміри зони впливу, побудовані за критеріями нахилів менші ніж розміри зони, побудованої за критеріями деформацій;

– граничні кути в мульдї зрушення слід розділяти на кути над виїмковими штреками, над розрізною піччю та над лінією зупинки очисного вибою.

При вирішенні питань забезпечення безпечної підробки об'єктів земної поверхні актуальнішими є не похибки кутових параметрів, а помилки встановлення границі зони впливу. Виходячи з цього, нами виконано аналіз точності, з якою може бути встановлено планове положення границі зони впливу очисної виробки на земній поверхні залежно від помилок граничних кутів.

Як вихідний критерій прийняті границі, встановлені за даними натурних інструментальних спостережень на спостережних станціях (за ними визначалися уніфіковані граничні кути ω_{0i} , ω_{0e}). Порівнянню підлягають границі, що відповідають розрахованому за формулою (4.1) куту ω_0^p з використанням нормативних кутових параметрів $\varphi_0 = 45^\circ$, $\delta_0 = 65^\circ$ [123] та границі, розраховані за граничними кутами з формул (4.2-4.7).

Похибка положення границі зони впливу визначалася за формулою

$$\Delta = H \cdot ctg\omega_0^p - H \cdot ctg\omega_0,$$

де ω_0^p – розрахунковий уніфікований граничний кут; ω_0 – фактичний уніфікований граничний кут.

Результати розрахунків наведено у табл. 4.2.

Аналіз результатів оцінки точності показав, що кути ω_0^p , розраховані за нормативним документом [123], мають максимальне відхилення від фактичних уніфікованих кутів 13° . Мінімальні відхилення кутів спостерігаються при глибинах 150-200 м. Відразу зазначимо, що цим глибинам відповідають нормативні кутові параметри (див. п. 2.4). Середньоквадратична помилка розрахованих кутів становить $\pm 5,4^\circ$. При використанні постійних нормативних граничних кутів у наносах і карбоні в умовах глибин підробки 400-500 м помилка положення границі зони впливу склала близько 110м, тобто 20-25% від глибини розробки. Середньоквадратична похибка визначення границь зони впливу становить ± 42 м.

Таблиця 4.2 – Оцінка точності розрахованих уніфікованих граничних кутів
та положення границь зони впливу

Станція	Лінія	Фактичний уніфікований граничний кут ω_0 град	За кутовими параметрами [123]			За формулами (4.2-4.7)		
			Розрахований уніфікований граничний кут ω^p_0 , град.	$\omega^p_0 - \omega_0$ град,	Похибка Δ , м	Розрахований уніфікований граничний кут ω^p_0 , град.	$\omega^p_0 - \omega_0$ град,	Похибка Δ , м
12	3	53	54	1	-5	50	-3	8
10	2	54	55	1	-4	55	1	-7
5	5	52	52	0	1	56	4	-19
11	2	55	55	0	0	57	2	-8
7	1	61	55	-6	28	58	-3	12
6	1	59	56	-3	12	61	2	-11
4	1	60	56	-4	17	61	1	-7
14	2	61	56	-5	22	61	0	-2
9	2	64	57	-7	40	61	-3	14
29	1	66	57	-7	45	62	-4	19
29	1	65	58	-7	40	64	0	3
24	2	66	56	-10	73	65	0	0
25	1	68	55	-13	116	69	1	-5
12	1	47	55	8	-27	49	2	-7
13	1	50	56	6	-20	50	0	1
10	1	51	56	5	-20	53	2	-7
11	1	54	55	1	-7	53	-1	4
8	1	55	56	1	-7	55	0	0
27	1	57	55	-2	9	55	-1	7
14	3	57	56	-1	5	56	-1	5
4	2	58	56	-2	6	57	-1	5
4	2	57	56	-1	3	57	0	2
9	1	57	57	0	-2	58	1	-7

24	1	61	57	-4	28	59	-2	11
22	1	64	57	-7	81	65	1	-9
23	1	66	57	-7	102	66	1	-10

При розрахунках з використанням встановлених нами залежностей (4.2-4.7) отримано середньоквадратичну похибку загальних кутів до $\pm 2^\circ$, а середньоквадратичне відхилення розрахункових меж від фактичних становило ± 8 м. При цьому максимальне відхилення становить 19 м.

При розрахунках за методикою [123] відхилення розрахованих кутів із зростанням глибини систематично зменшуються; при розрахунках за виразами (4.2-4.7) відхилення кутів мають виражений випадковий характер у межах від -4° до $+4^\circ$. І як факт – середньоквадратична помилка положення границі зони впливу, розрахована за запропонованими кутовими параметрами, зменшилась у 5 разів у порівнянні з похибкою нормативних кутів.

4.2 Дослідження кутів зрушення

Умови безпечного відпрацювання вугільних пластів під поверхневими об'єктами встановлюється на підставі порівняння розрахункових показників деформацій земної поверхні з допустимими показниками деформацій об'єктів, що підробляються. У разі коли розрахункові показники перевищують допустимі, підробка об'єктів здійснюється із застосуванням відповідних заходів охорони від шкідливого впливу гірничих розробок.

Розрізняють конструктивні та гірничі заходи охорони. До конструктивних заходів відносяться: проведення відновлювальних та ремонтних робіт під час підробки, посилення конструкції споруди тощо. Гірничі заходи призначаються у випадках, коли конструктивних заходів недостатньо. Як правило, гірничі заходи застосовуються при охороні об'єктів підвищеної важливості: шахтних стволів, мостів, конструкцій баштового типу, історичних споруд та ін. В даний час найбільш поширеним заходом охорони є залишення охоронних ціликів під

об'єктом, що підробляється. Це призводить до значних втрат корисної копалини по всіх пластах, що відпрацьовуються. Завищення розмірів запобіжних ціликів збільшує втрати вугілля і, навпаки, заниження – до небезпечних деформацій об'єкта, що охороняється. Таким чином, достовірність встановлення меж запобіжних ціликів є одним із пріоритетних завдань охорони підроблюваних об'єктів та раціонального використання надр.

Границі зони небезпечного впливу на земній поверхні визначається за кутами зрушення. За їх допомогою встановлюються границі ціликів для охорони споруд, що підробляються [123]. Отже, помилка положення границі цілика у плані залежить від точності застосовуваних кутів зрушення за умов конкретного родовища вугілля чи його регіону.

Кути зрушення визначаються за результатами натурних інструментальних спостережень за зміщенням земної поверхні над гірничими розробками. Спосіб визначення практично не відрізняється від способу визначення граничних кутів, описаного вище. Відмінність полягає у використовуваних критеріях. Прийнято [123], що границя зони небезпечного впливу очисної виробки на земній поверхні визначається точками з деформаціями $i = 4 \cdot 10^{-3} \varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$. Виходячи з цього, методика дослідження кутів зрушення в умовах Західного Донбасу прийнято таку ж, як для граничних кутів.

В результаті аналізу даних інструментальних спостережень на спостережних станціях Західного Донбасу нами відібрано 26 профільних ліній, які підходять для дослідження кутів зрушень за ступенем розвитку нахилів та горизонтальних деформацій (таблиця Г-1, Додаток Г).

На рис. 4.14 показано схему визначення кутів зрушення на розрізі по профільній лінії реперів з використанням згладжених графіків розподілу нахилів та горизонтальних деформацій для визначення положення на земній поверхні точок із значеннями деформацій, що дорівнюють критеріям. За даними експериментальних досліджень для кожної з проаналізованих профільних ліній встановлено по три значення кутів зрушення: ω_i – за критерієм $i = 4 \cdot 10^{-3}$; ω_ε ; ω_ε –

за критерієм $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$ та середній із двох попередніх кутів – ω_{cp} (таблиця Г-1, Додаток Г).

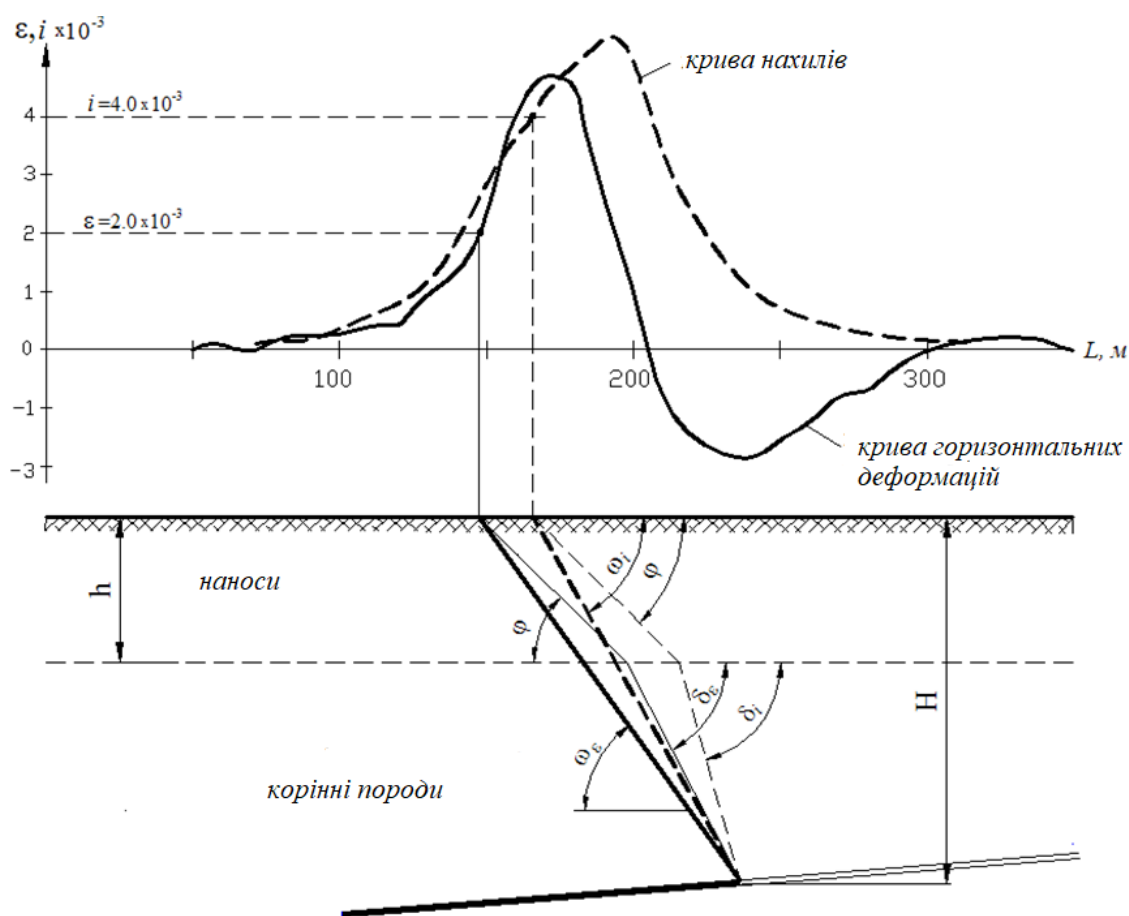


Рис. 4.14 Схема визначення кутів зрушення на розрізі по профільній лінії реперів

Для прогнозування границь небезпечного впливу очисних робіт на об'єкти, що підробляються, в умовах шахт Західного Донбасу використовуються нормативні значення кутів зрушення: у корінних породах $\delta = 75^\circ$, у наносах $\varphi = 50^\circ$ [123].

На першому етапі дослідження кутів зрушення нами прийнято, що кут у наносах відомий і дорівнює нормативному значенню. За схемою, аналогічною з наведеною на рис. 4.1, графічно, з використанням встановленого за результатами натурних спостережень уніфікованого кута зрушення ω , визначено очікувані кути зрушення у корінних породах для умов проаналізованих профільних ліній. Значення отриманих кутів зрушення і уніфікованих, експериментально

встановлених за критеріями нахилів і горизонтальних деформацій, кутів зрушення ω наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Значення кутів зрушення δ (при $\varphi = 50^\circ$) та уніфікованих кутів зрушення ω для умов шахт Західного Донбасу

Станція	Лінія	Уніфіковані кути зрушення ω , град.			Кути зрушення δ град.		
		ω_i	ω_ε	$\omega_{\text{ср}}$	δ_i ($i = 4 \cdot 10^{-3}$)	δ_ε ($\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$)	$\delta_{\text{ср}}$
12	3	70	64	67	105	92	98.5
10	2	72	68	70	113	101	107
5	5	72	67	69.5	106	91	98.5
11	2	73	69	71	98	77	87.5
7	1	74	72	73	116	103	109.5
6	1	76	75	75.5	104	90	97
4	1	78	70	74	100	83	91.5
14	2	79	73	76	108	95	101.5
9	2	81	75	78	107	93	100
29	1	79	72	75.5	104	88	96
29	1	82	75	78.5	103	82	92.5
24	2	84	76	80	118	99	108.5
25	1	86	78	82	120	101	110.5
12	1	73	58	65.5	90	66	78
13	1	66	64	65	85	74	79.5
10	1	73	63	68	91	73	82
11	1	77	66	71.5	100	93	96.5
8	1	82	66	74	103	86	94.5
27	1	87	69	78	105	84	94.5
14	3		71		102	91	96.5
4	2	87	68	77.5	106	76	91
4	2	87	72	79.5	107	77	92
9	1	86	70	78	108	83	95.5

24	1	90	73	81.5	118	93	105.5
22	1	93	76	84.5	121	85	103
23	1	93	77	85	120	94	107

Відповідно до загальноприйнятих уявлень про процес зрушення земної поверхні та вимог нормативного документа [123], кути зрушення в корінних породах δ не повинні змінюватися при зміні глибини розробки вугільних пластів, а також при зміні потужності корінних порід. Отже повинна дотримуватися умова $\delta = const$. Насправді, при заданому куті в наносах $\varphi = 50^\circ$, кути δ_i змінюються від 85° до 121° ; кути δ_ε – від 66° до 103° . Розподіл кутів зрушення δ_i та δ_ε при заданому куті $\varphi = 50^\circ$ залежно від глибини H показано на рис. 4.15.

Очевидно, що кути δ_i і δ_ε не залишаються постійними при різних глибинах розробки вугільних пластів у Західному Донбасі. Аналіз цього розподілу показує, що простежується загальна залежність кутів δ_i , δ_ε від глибини, але вона не має чітко вираженого характеру. Для кутів зрушення δ_ε , визначених за критерієм $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$ кореляція між значеннями кутів і глибиною практично відсутня. Розподіл δ_i , δ_ε від потужності корінних порід ($H-h$), показаний на рис. 4.16 має ще менш виражену функціональну залежність.

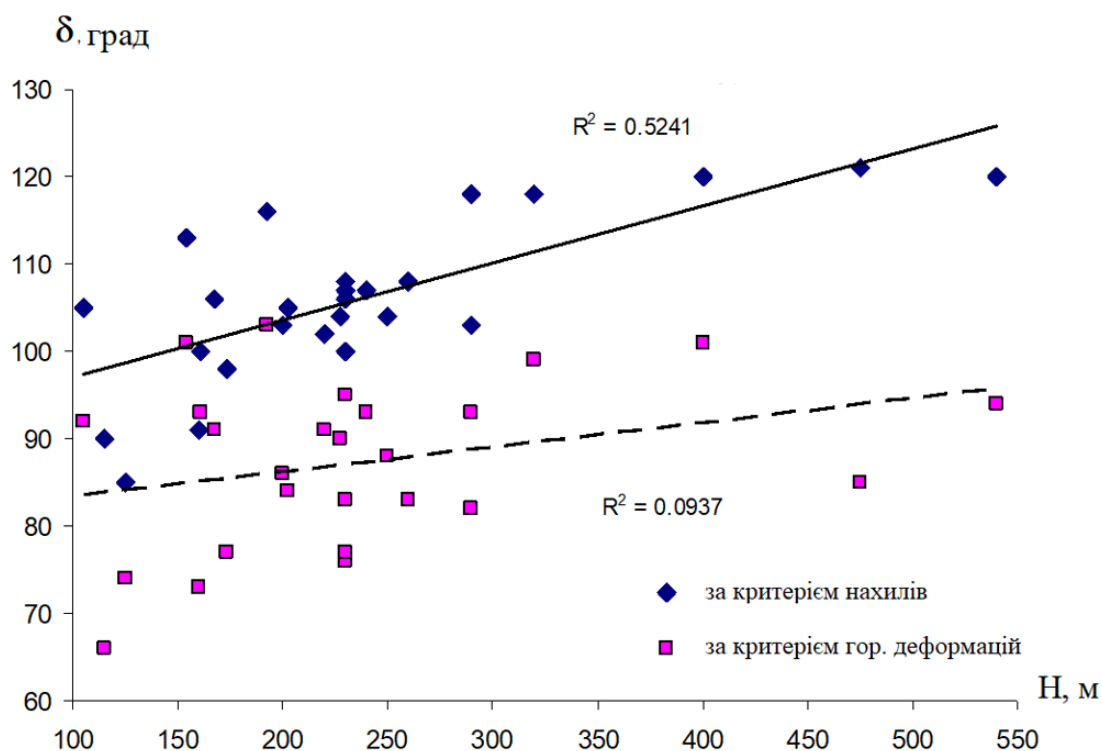
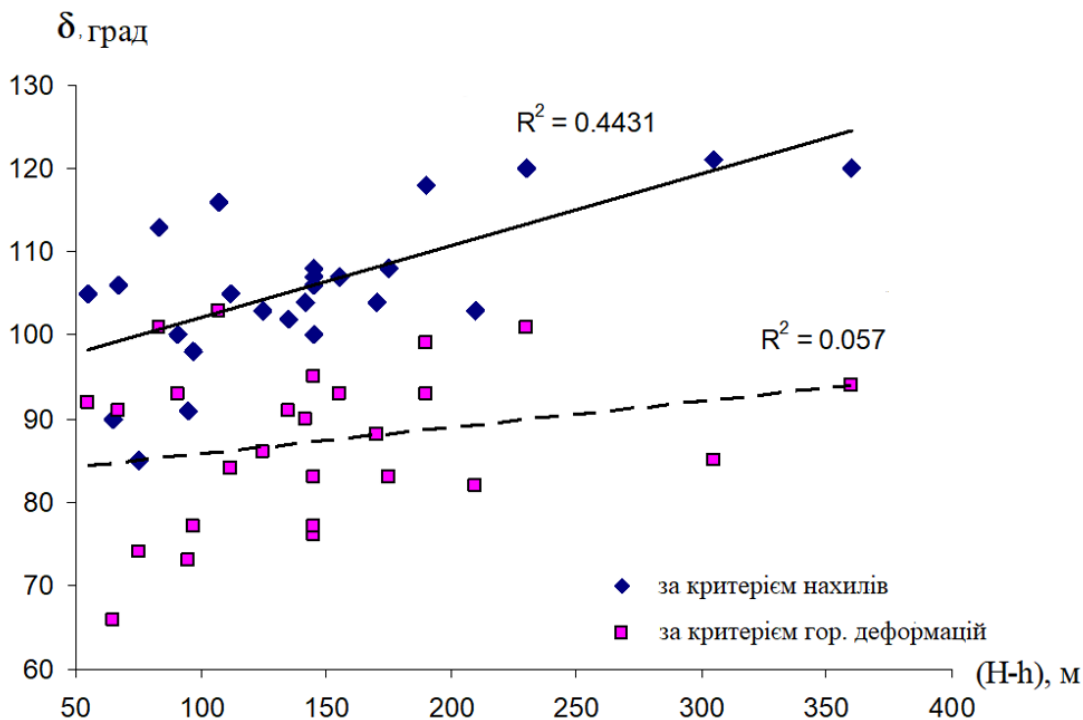


Рис. 4.15 Розподіл значень кутів зрушення δ_i, δ_e від глибини розробки H Рис. 4.16 Розподіл значень кутів зрушення δ_i, δ_e від потужності корінних порід $(H-h)$

При заданому куті зрушення в наносах $\varphi = 50^\circ$ для більшості з аналізованих профільних ліній спостерігається невласлива для кутових параметрів картина, а саме кути зрушення в корінних породах приймають значення більше 90° (рис. 4.17), а лінії, проведені під кутами φ і δ вигинаються в бік виробленого простору.

Для умов Західного Донбасу уніфікованих для всієї товщі порід, що підробляються, кут зрушення може бути розрахований за формулою

$$\operatorname{ctg}\omega^p = \frac{h}{H} \operatorname{ctg}\varphi + \frac{H-h}{H} \operatorname{ctg}\delta = \frac{h}{H} (\operatorname{ctg}\varphi - \operatorname{ctg}\delta) + \operatorname{ctg}\delta$$

З урахуванням того, що $\varphi = 50^\circ$ та $\delta = 75^\circ$ [123] отримаємо:

$$\operatorname{ctg}\omega^p = 0,571 \frac{h}{H} + 0,268 \quad (4.8)$$

З виразу (4.8) випливає, що із збільшенням потужності наносів (або зменшенні потужності корінних порід) в товщі має відбуватися зменшення уніфікованого кута зрушення і існує пряма залежність між співвідношенням h/H

і значенням кута ω .

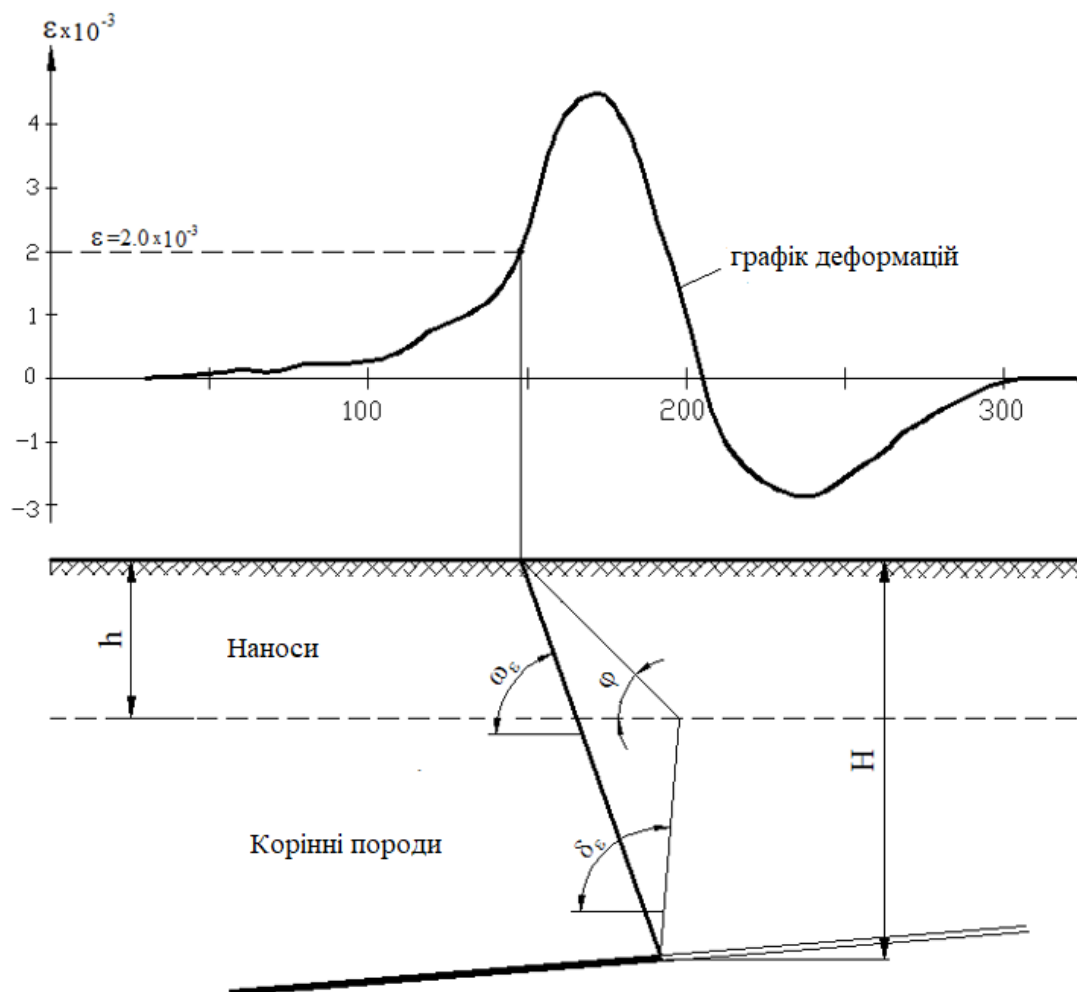


Рис. 4.17 Схема кутів параметрів із значеннями $\delta > 90^\circ$

На рис 4.18 показано розподіл ω_ϵ від (h/H) , побудований за даними додатку В. Також показано розподіл кутів ω_p , розрахованих відповідно до [123] за формулою (4.8).

Аналіз графіків (рис. 4.18) вказує на відсутність явної залежності між величинами кутів ω_ϵ і співвідношенням (h/H) та на значні відмінності між теоретичним та фактичним розподілом кутів. Товща корінних порід у Західному Донбасі представлена слабкими алевролітами та аргілітами, рідше пісковиками вапняками низької міцності.

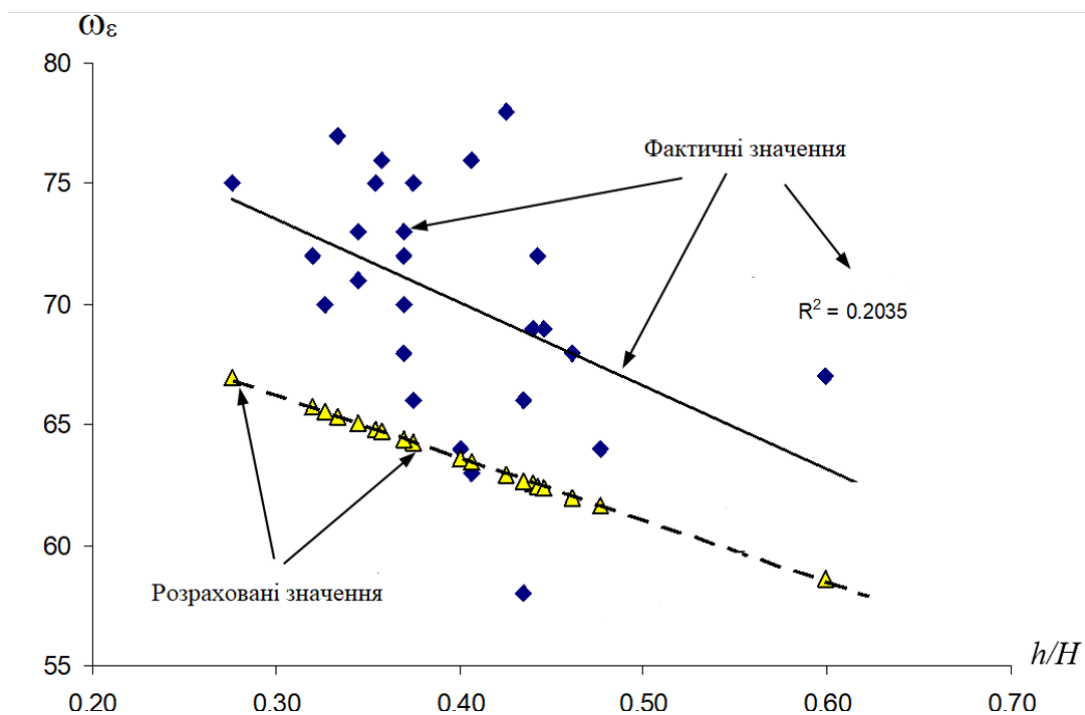


Рис. 4.18 Розподіл встановлених експериментально кутів ω_ϵ і розрахованих кутів ω^ρ залежно від співвідношення (h/H)

За своїми фізико-механічними властивостями ці породи ближчі до четвертинних відкладень, ніж до досить міцних корінних порід Центрального Донбасу. При цьому нормовані "Правилами підробки..." [123] кути зрушення в наносах і карбоні відрізняються на 25° , що повинно відповідати значній різниці характеристик міцності порід, чого не спостерігається в Західному Донбасі (див. п. 2.2).

Відповідно до вищесказаного, подальші дослідження уніфікованих, експериментально встановлених кутів зрушення виконані без поділу на кути в наносах та корінних породах на предмет залежності від глибини розробки та напряму ведення очисних робіт щодо проаналізованих профільних ліній реперів.

На рис. 4.19 представлена залежність уніфікованих кутів зрушення ω , встановлених за критеріями нахилу та горизонтальних деформацій від глибини розробки для умов усіх профільних ліній.

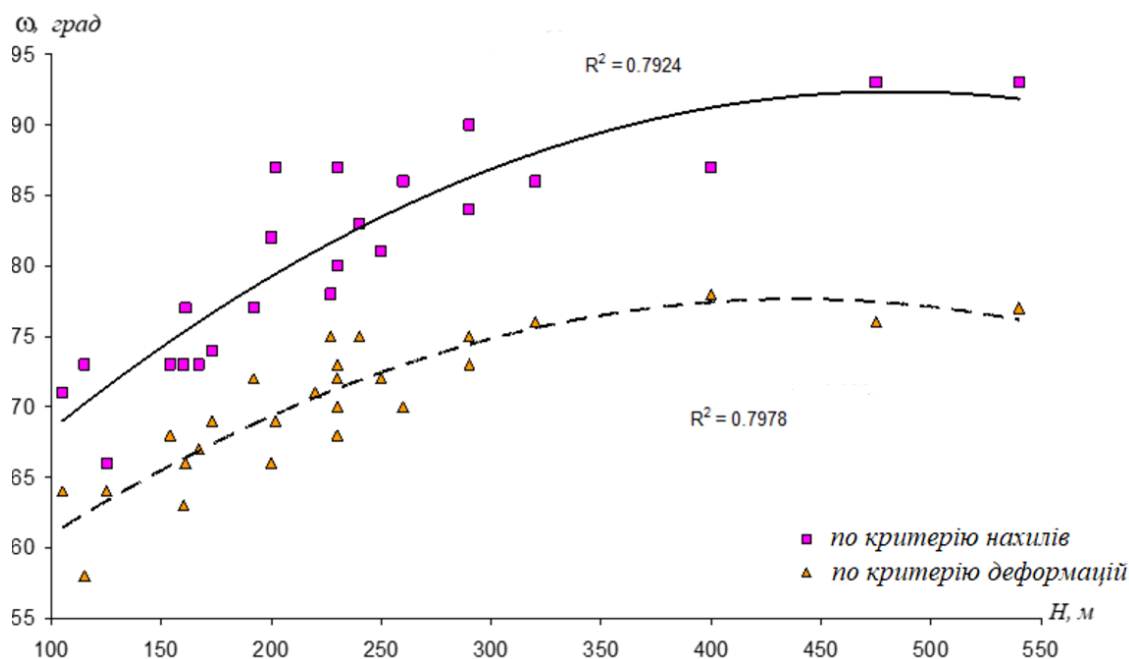


Рис. 4.19 Залежність встановлених експериментально уніфікованих кутів зрушення від глибини розробки H

Аналіз графіків на рис. 4.19 вказує на наявність очевидної залежності загальних кутів зрушення від глибини розробки. Тіснота зв'язку кутів ω_i та ω_ε з зростанням глибини H характеризується коефіцієнтом кореляції 0,9. Як і у випадку з граничними кутами, кути зрушення за критерієм нахилу мають більші значення, ніж за критерієм горизонтальних деформацій. При малих глибинах ця відмінність становить близько 6° , при великих – 17° . Інтенсивне зростання кутів зрушення спостерігається при збільшенні глибини розробки до значення 350 м. Починаючи з $H = 350$ м величини уніфікованих кутів зрушення стабілізуються і приймають значення близькі до $90-95^\circ$, якщо використовується критерій $i = 4 \cdot 10^3$ та близько 75° за критерієм $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$. Максимальні відхилення значень кутів від апроксимуючої поліноміальної кривий за критерієм нахилів становить 8° , а за критерієм горизонтальних деформацій – 4° .

У загальній сукупності експериментально встановлених кутів зрушення так само, як і у граничних кутів, виділяються відокремлені групи, що належать до перерізів над виїмковими штреками та над розрізною піччю очисної виробки (рис. 4.20).

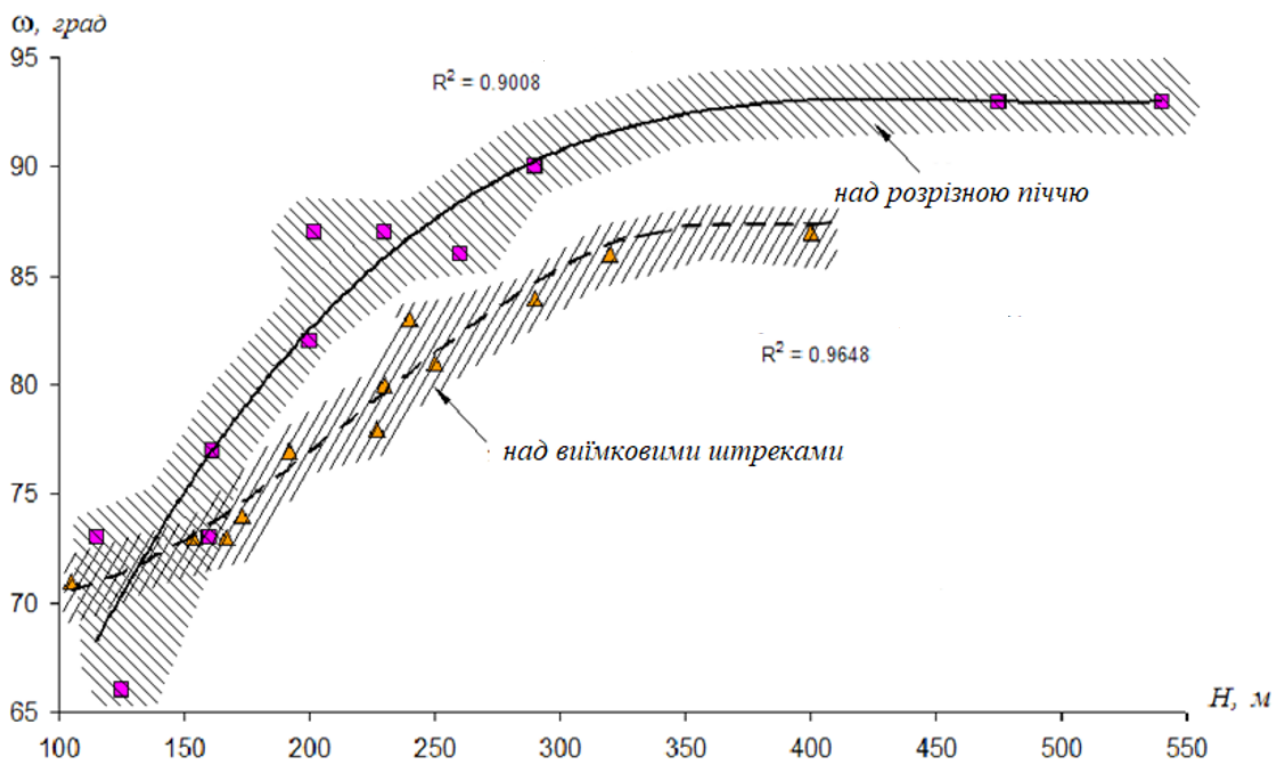


Рис. 4.20 Области зміни уніфікованих кутів зрушення ω_i над штреками та розрізною піччю від глибини H

Нижче наведено графіки розподілу уніфікованих кутів зрушення за критерієм нахилу та горизонтальних деформацій у перерізах мульди над розрізною піччю (рис. 4.21) та над виїмковими штреками (рис. 4.22) в інтервалах зміни глибини від 100 м до 350 м.

Аналітичні залежності для визначення уніфікованих кутів зрушення при глибині розробки до 350 м мають вигляд:

– над розрізною піччю

$$\omega_i = 24,28 \ln H - 46,52; \quad (4.9)$$

$$\omega_\varepsilon = 13,79 \ln H - 5,25; \quad (4.10)$$

– над виїмковими штреками

$$\omega_i = 15 \ln H - 1,55; \quad (4.11)$$

$$\omega_\varepsilon = 11,3 \ln H + 11,08. \quad (4.12)$$

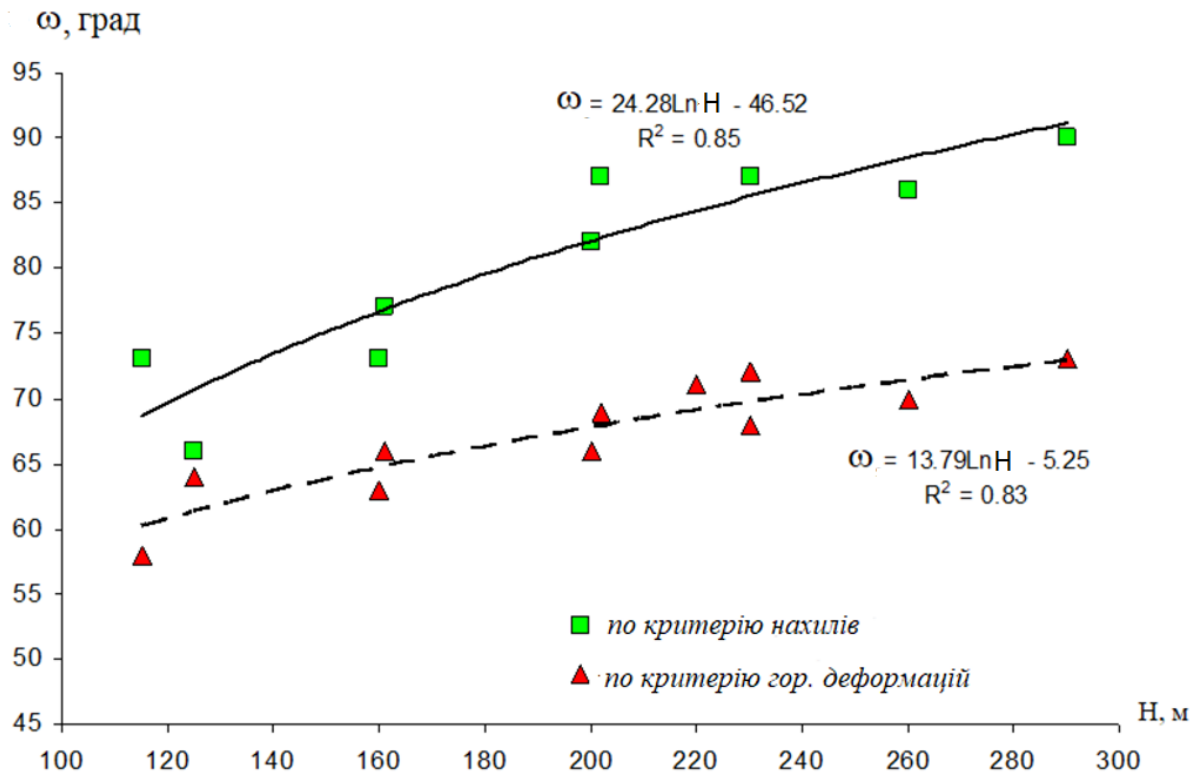


Рис. 4.21. Залежність уніфікованих кутів зрушення ω_i, ω_e від глибини розробки над розрізною піччю при $H < 300$ м

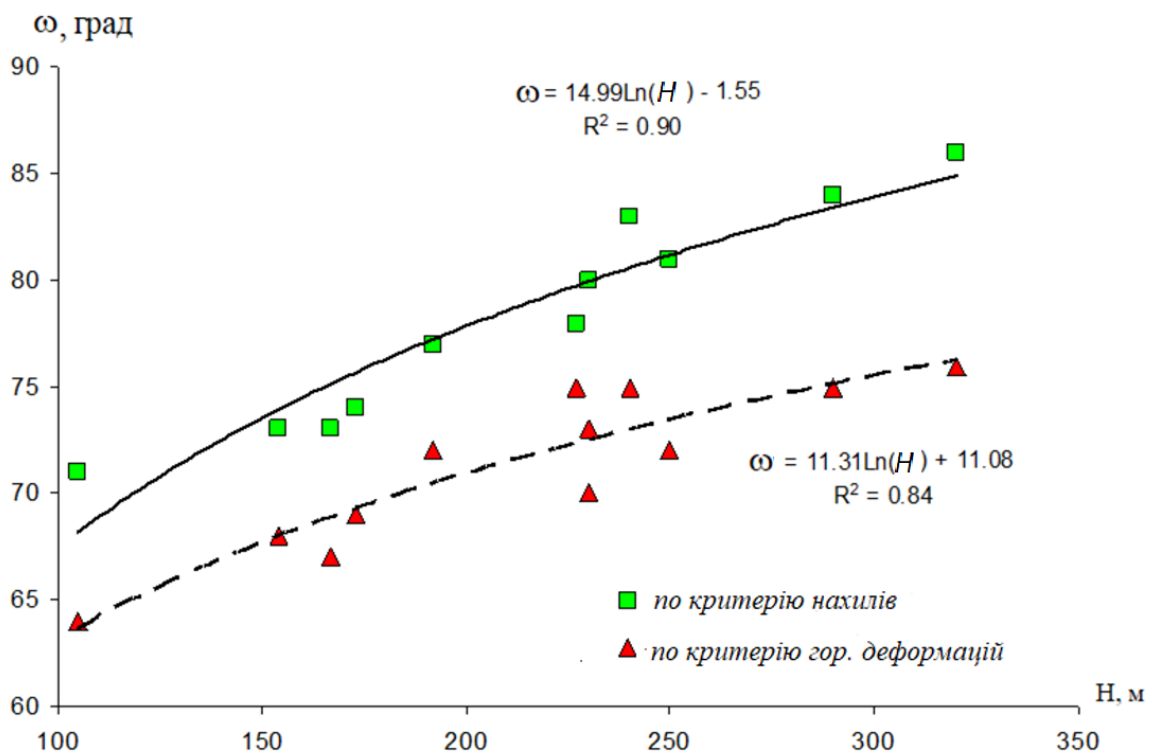


Рис. 4.22 Залежність уніфікованих кутів зрушення ω_i, ω_e від глибини розробки над виїмковими штреками при $H < 350$ м

При веденні очисних робіт на глибинах понад 350 м уніфіковані кути зрушення набувають таких середніх значень:

над розрізною піччю

– за критерієм нахилу $\omega_i = 95^\circ$;

– за критерієм горизонтальних деформацій $\omega_\varepsilon = 75^\circ$;

над виїмковими штреками

– за критерієм нахилу $\omega_i = 86^\circ$;

– за критерієм горизонтальних деформацій $\omega_\varepsilon = 76^\circ$.

В роботі виконано аналіз значень уніфікованих кутів зрушення, розрахованих за методикою [123], за формулами (4.9-4.12) та розраховані відхилення цих кутів від кутів, отриманих за результатами натурних спостережень на шахтах Західного Донбасу. Крім цього, виконані розрахунки щодо визначення границь зон небезпечного впливу на земній поверхні з використанням кутів зрушення [123] та (4.9-4.12). Встановлені їх відхилення від границь, що визначаються положенням точок з за відповідними критеріями. Результати розрахунків наведено у табл. 4.4.

Відхилення кутів, розрахованих за методикою [123], від фактичних змінюються від +1 до -19 при середньоквадратичній похибці $\pm 10,2$. Для кутів, розрахованих за формулами (4.9-4.12), ці величини склали відповідно: $+3^\circ$; -2° ; $\pm 1,3^\circ$.

Помилки визначення границь небезпечного впливу за нормативними кутами зрушення досягають 150 м при середньоквадратичній похибці ± 65 м. При використанні залежності (4.9-4.12) максимальне відхилення в положенні границі зони небезпечного впливу склало 13 м, а середньоквадратична похибка не перевищує ± 6 .

Слід зазначити, що похибки нормативних параметрів мають явно виражений систематичний характер, а розрахованих за встановленими нами кутами зрушення мають випадковий характер, про що свідчать дані табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Аналіз розрахункових уніфікованих кутів зрушення та помилок положення границь зони небезпечного впливу

Станція	Лінія	Фактичний уніфікований кут ω^p , град.	За кутовими параметрами [123]			За формулами (4.9-4.12)		
			Розрахований уніфікований кут ω^p , град.	$\omega^p - \omega$, град.	Помилка положення границі цілика, м	Розрахований уніфікований кут ω^p , град.	$\omega^p - \omega$, град.	Помилка положення межі цілика, м
Над виїмковими штреками								
12	3	67	62	-5	12	66	-1	2
10	2	70	62	-8	26	70	0	0
5	5	70	59	-11	39	71	2	-5
11	2	71	63	-8	30	72	1	-2
7	1	73	62	-11	41	73	0	1
6	1	76	64	-11	51	75	0	2
4	1	74	64	-10	44	75	1	-5
14	2	76	64	-12	53	75	-1	3
9	2	78	65	-13	62	76	-2	10
29	1	76	66	-10	48	76	1	-4
29	1	79	67	-12	64	78	0	0
24	2	80	63	-17	104	80	0	2
25	1	82	63	-19	148	82	0	-2
Над розрізною піччю								
12	1	62	63	1	-2	63	1	-4
13	1	65	64	-1	4	64	-1	2
10	1	66	63	-2	7	67	2	-5
11	1	69	63	-6	21	67	-2	6
8	1	70	64	-5	22	70	1	-2
27	1	72	62	-10	40	70	-2	7
14	3	74	64	-10	42	71	-2	9
4	2	69	64	-5	22	72	3	-13
4	2	73	64	-9	40	72	-1	5
9	1	73	66	-7	36	74	1	-6
24	1	76	65	-10	60	75	0	2
22	1	79	65	-14	132	80	1	-9
23	1	81	65	-15	157	80	-1	6

4.3 Дослідження кутів повних зрушень

Дослідження кутових параметрів зрушення земної поверхні було б неповним, якщо його обмежити граничними кутами та кутами зрушення. Одне з основних призначень кутових параметрів – встановлення на земній поверхні границь напівмульд, в межах яких виконується розрахунок очікуваних зрушень та деформацій поверхні. З цієї причини нами виконані дослідження кутів повних зрушень, які позначають у мульдї внутрішню границю напівмульди або початок плоского дна.

Згідно з введеними в дію в 2004 р. "Правилами підробки ..." [123] за умови співвідношення потужності наносів до глибини розробки більше 0,2 кути повних зрушень поділяються на кути в наносах ψ_n і корінних породах ψ_k . Таким чином, для умов Західного Донбасу кути повних зрушень становлять:

- у корінних породах $\psi_k = 55^\circ$;
- у наносах $\psi_n = 45^\circ$.

Аналіз результатів маркшейдерських інструментальних спостережень дозволив виділити 27 профільних ліній, що задовольняють умові повної підробки земної поверхні. Значення уніфікованих для всієї товщі, що підробляється, кутів повних зрушень на цих профільних лініях визначалися графічно на розрізах, поєднаних з графіками нахилів і горизонтальних деформацій земної поверхні. Точкою початку плоского дна використана точка на графіках (рис. 4.23), в якій крива нахилів або горизонтальних деформацій перетинала вісь абсцис, а значення деформацій змінювали знак із позитивного на негативний. Встановлені експериментально значення кутів повних зрушень по профільних лініях представлені в додатку В.

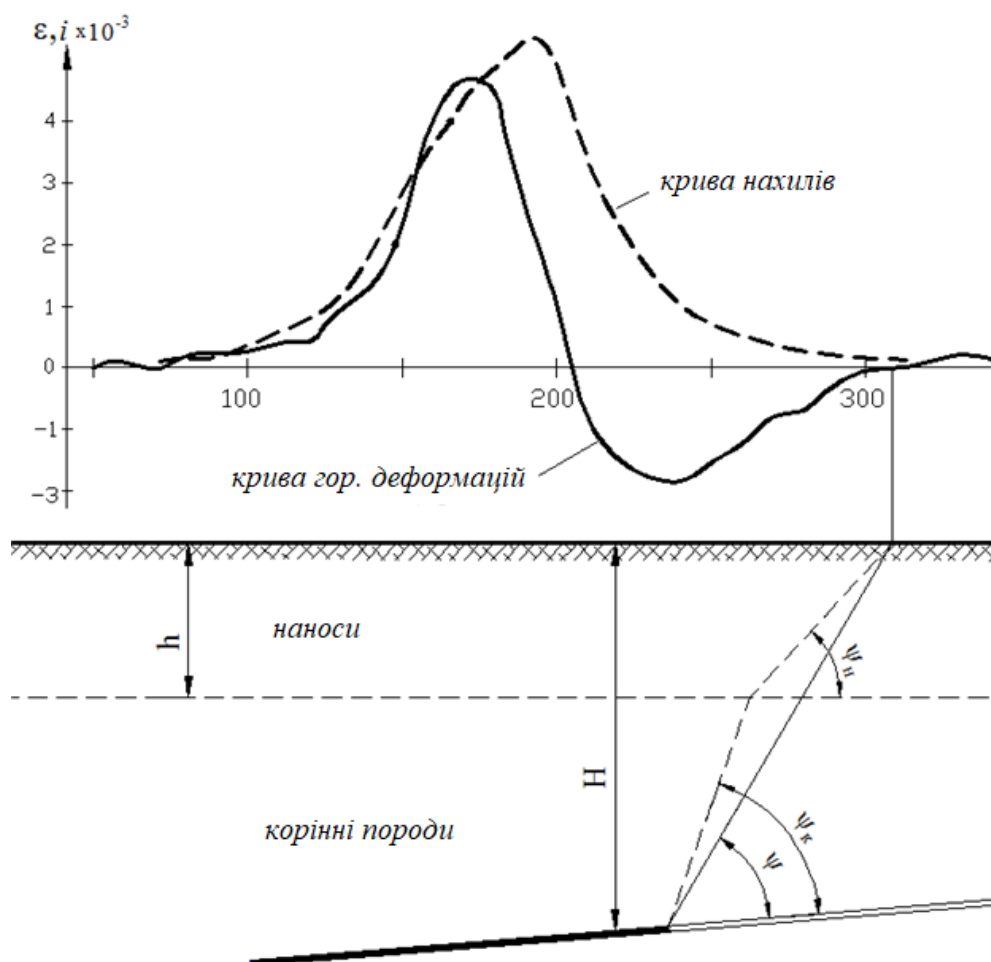


Рис. 4.23 Схема визначення кутів повних зрушень

Отримані з графіків значення кутів повних зрушень перебувають у діапазоні $40-62^\circ$. Середньоквадратичне відхилення від середнього значення кута ψ , що дорівнює $51,6^\circ$, становить $\pm 5,5^\circ$. Отриманий середній кут повних зрушень трохи відрізняється від кута $\psi_k = 55^\circ$ у корінних породах за методикою [123].

Згідно [123] для умов Західного Донбасу уніфікований для всієї товщі порід, що підробляються, кут повних зрушень розраховується за формулою

$$\operatorname{ctg}\psi^p = \frac{h}{H} \operatorname{ctg}\psi_n + \frac{H-h}{H} \operatorname{ctg}\psi_k = \frac{h}{H} (\operatorname{ctg}\psi_n - \operatorname{ctg}\psi_k) + \operatorname{ctg}\psi_k.$$

З урахуванням того, що $\psi_n = 45^\circ$ і $\psi_k = 55^\circ$ [123] отримаємо:

$$\operatorname{ctg}\psi^p = 0,30 \frac{h}{H} + 0,70. \quad (4.13)$$

З виразу (4.13) випливає, що зі збільшенням потужності наносів (або зменшенні потужності корінних порід) в товщі має відбуватися зменшення

уніфікованого кута повних зрушень. В цьому випадку повинна існувати пряма залежність між співвідношенням h/H і значенням кута ψ .

На рис 4.24 показано розподіл кутів поних зрушень від (h/H), побудований за даними таблиці Г-1 (Додаток Г). Тут же показано розподіл кутів ψ^p , розрахованих відповідно до [123] за формулою (4.13).

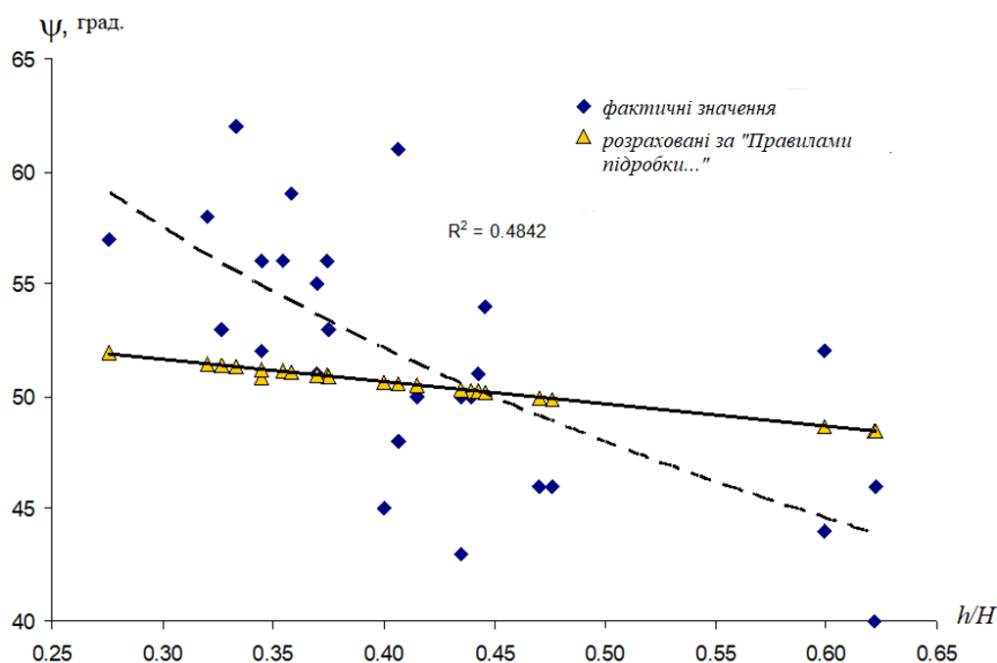


Рис. 4.24 Розподіл встановлених експериментально кутів ψ та розрахованих кутів ψ^p залежно від співвідношення (h/H)

Вочевидь, що у Західному Донбасі взаємозв'язок кутів ψ з потужністю наносів і корінних порід дуже слабка і умова (4.13) не дотримується.

Якщо прийняти кут повних зрушень у наносах $\psi_n = 45^\circ$, як це нормується "Правилами підробки..." [123], то кут повних зрушень у корінних породах має бути постійним. Однак проведений аналіз показує, що насправді цього не спостерігається, і навіть існує певна залежність між величинами кутів ψ_k і потужністю корінних порід (рис. 4.25). Кути ψ_k визначалися графічно на розрізах по профільних лініях при таких умовах: уніфікованому, експериментально встановленому куту ψ і куту $\psi_n = 45^\circ$.

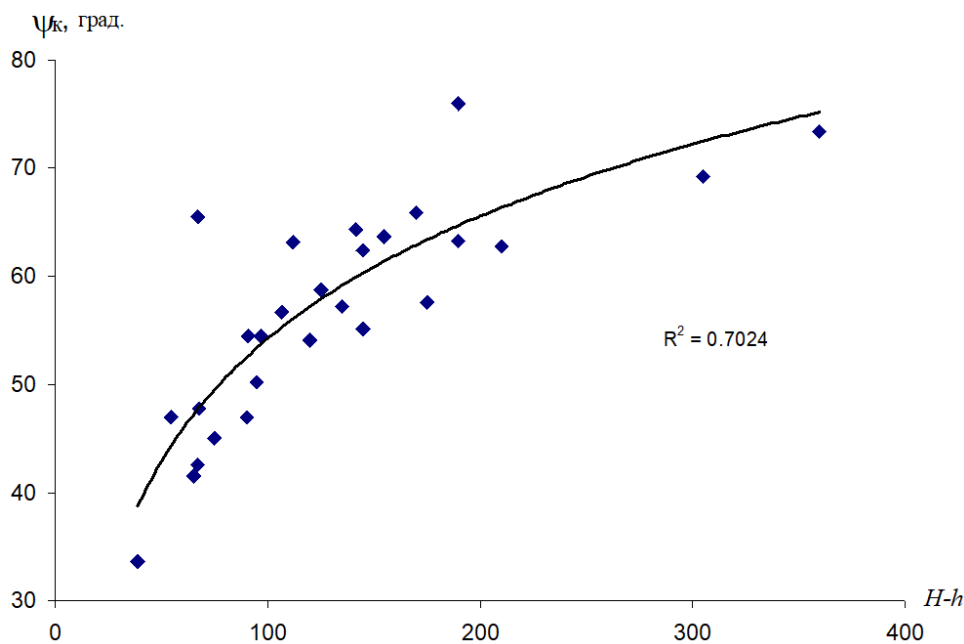


Рис. 4.25 Розподіл кутів ψ до $\psi_n = 45^\circ$ залежно від потужності корінних порід

У той же час існує більш виражений взаємозв'язок експериментально встановлених кутів з глибиною розробки H (рис. 4.26).

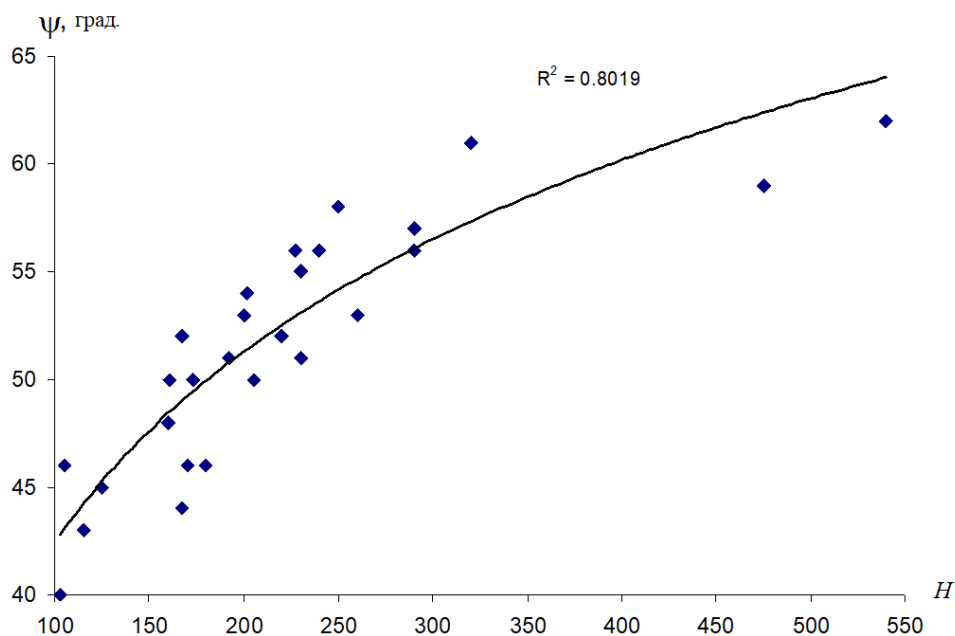


Рис. 4.26 Розподіл встановлених експериментально кутів ψ залежно від H

Аналіз уніфікованих, експериментально встановлених кутів від розташування профільних ліній, в яких вони визначалися, вказує на те, що кути так само, як і граничні кути і кути зрушення, розрізняються в перерізах мульди:

над виїмковими штреками, над розрізною піччю, над лінією зупинки очисного. Ці залежності показано на рис. 4.27.

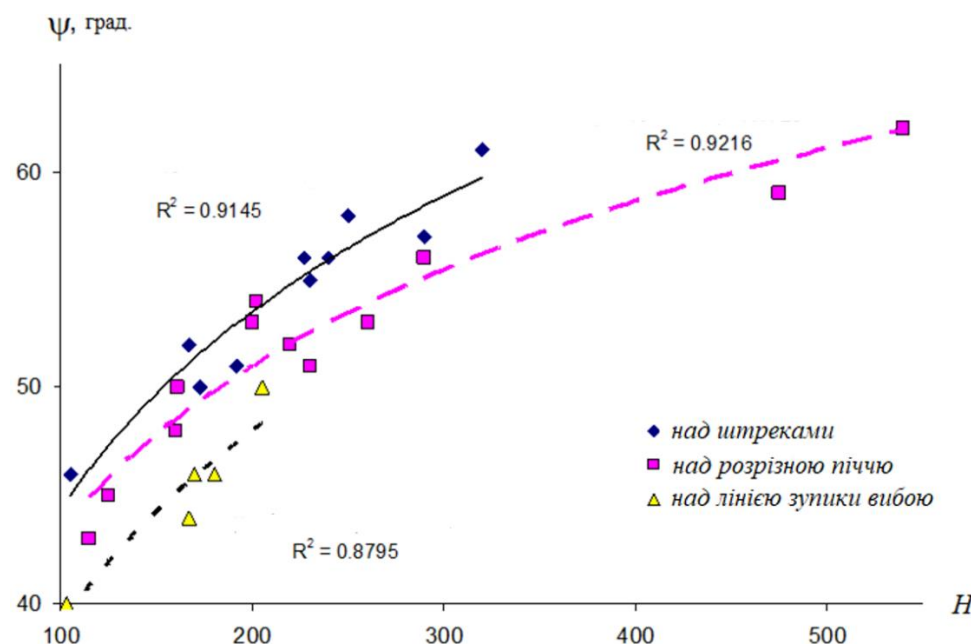


Рис. 4.27 Залежність уніфікованих кутів повних зрушень над штреками, розрізною піччю та лінією зупинки очисного вибою від глибини H

З дуже високим ступенем взаємозв'язку аналізованих величин (коефіцієнти кореляції становлять близько 0,95) аналітичні залежності уніфікованих кутів повних зрушень від глибини підробки земної поверхні мають такий вигляд:

– над виїмковими штреками

$$\psi = 13,19 \ln(H) - 16,36 ; \quad (4.14)$$

– над розрізною піччю

$$\psi = 10,98 \ln(H) - 7,17 ; \quad (4.15)$$

– над лінією зупинки очисних робіт

$$\psi = 13,00 \ln(H) - 20,87. \quad (4.16)$$

Розрахунки за формулами (4.14)-(4.16) показують, що визначені кути повних зрушень відрізняються від фактичних на величину, що не перевищує 5° при переважній різниці $\pm 2^\circ$. Цей факт свідчить про високу достовірність отриманих нами результатів.

4.4 Висновки до розділу 4

Точність визначення границь зони впливу і зони небезпечного впливу очисних робіт на земну поверхню безпосередньо впливає на надійність застосовуваних заходів охорони підроблюваних об'єктів від шкідливого впливу гірничих розробок.

На вугільних родовищах України параметри процесу зрушення земної поверхні, що застосовуються для прогнозу впливу гірничих розробок на об'єкти, що підробляються, регламентуються "Правилами підробки будівель, споруд та природних об'єктів при видобутку вугілля підземним способом". Відповідно до цього документа граничні кути для західного Донбасу приймаються фіксованими та незмінними: у наносах $\varphi_0 = 45^\circ$, у корінних породах $\delta_0 = 65^\circ$; кути зрушення в наносах $\varphi = 50^\circ$, у корінних породах $\delta = 75^\circ$; кути повних зрушень: у корінних породах $\psi_k = 55^\circ$, у наносах $\psi_n = 45^\circ$.

Аналітичні дослідження встановлених раніше залежностей кутових параметрів зрушення земної поверхні для умов розробки вугільних пластів показали, що основними факторами, що впливають на величини названих кутів, є: глибина ведення гірничих робіт, потужність наносів та напрямок проходження очисного вибою щодо головних перерізів мурли зрушення. В умовах Західного Донбасу ці фактори змінюються в значних межах. Існує велика база даних натурних маркшейдерських інструментальних спостережень за зрушенням земної поверхні над очисними гірничими виробками, яка дозволяє виконати детальні дослідження кутових параметрів.

Як основний метод дослідження кутових параметрів прийнято метод статистичного аналізу, що включає кореляційний аналіз досліджуваних параметрів на предмет їх взаємозалежності та регресійний аналіз для встановлення найбільш ймовірного виду залежності кутових параметрів від впливаючих факторів. В результаті досліджень встановлено, що нормативні кутові параметри не відповідають фактичному положенню границь зони впливу

та зони небезпечного впливу очисних робіт на земній поверхні.

При фіксованих значеннях кутів $\varphi_0 = 45^\circ$ та $\varphi = 50^\circ$ кути δ_0 і δ не залишаються постійними, а змінюються відповідно від 55 до 85° для граничних кутів та від 66 до 121° для кутів зрушення.

Аналіз кутів у наносах і карбоні за діючою методикою від співвідношення потужності наносів і корінних порід не виявив їх взаємозв'язку, що ставить під сумнів сам факт поділу граничних кутів та кутів зрушення у названих породах.

Розрахунки показали, що використання уніфікованих граничних кутів в умовах Західного Донбасу дозволяє визначати границі зони впливу на земній поверхні з більшою точністю та більш однозначно в порівнянні з роздільними фіксованими кутами у породах наносів та карбону.

Спостерігається виражена тенденція до збільшення кутових параметрів процесу зрушення із зростанням глибини розробки вугільних пластів.

Однозначно встановлено, що граничні кути і кути зрушення, відповідні критеріям нахилів, менші за кути, визначених за критеріями горизонтальних деформацій. Розміри зони впливу, побудовані за критеріями нахилів менше розмірів зон, побудованих за критеріями деформацій.

На підставі дослідження значень кутових параметрів у перерізах мульди зрушення над розрізною піччю очисної виробки, над виїмковими штреками та над лінією зупинки очисних робіт встановлено, що в цих перерізах граничні кути, кути зрушення та повних зрушень різняться. З високим ступенем достовірності залежність величин кутів від глибини та напрямки ведення очисних робіт описується встановленими логарифмічними рівняннями.

Встановлені залежності граничних кутів, кутів зрушення та повних зрушень від глибини розробки та напрямку ведення очисних робіт знижують похибки встановлення границь зон впливу та небезпечного впливу гірничих розробок на земну поверхню в 5 і більше разів. Це дозволяє більш точно виконувати прогнозування впливу очисних гірничих робіт на земну поверхню і підвищити надійність заходів охорони підроблюваних об'єктів.

РОЗДІЛ 5. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ І РЕКОМЕНДАЦІЇ З ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

5.1 Аналіз впливу кутових параметрів на результати прогнозування очікуваних зрушень та деформацій земної поверхні

Оцінка відхилень нормативних кутових параметрів та значень кутів, розрахованих за встановленими нами залежностями, виконана в розділі 4 показала, що нормативні граничні кути φ_0, δ_0 забезпечують середню квадратичну кутову похибку визначення границь зони впливу $\pm 5,4^\circ$, а кути розраховані за формулами (4.2-4.7) – $\pm 2^\circ$.

Відхилення кутів зрушення, розрахованих за методикою [123], від фактичних змінюються від +1 до -19 при середньоквадратичній похибці $\pm 10,2$. Для кутів, розрахованих за формулами (4.9-4.12) середньоквадратична кутова похибка визначення границь зони небезпечного впливу становить $\pm 1,3^\circ$.

Нормативні значення кутів повних зрушень ψ_k і ψ забезпечують визначення початку плоского дна мульди з похибкою $\pm 5,1^\circ$, тоді як встановлені в роботі залежності (4.14-4.16) дають похибку, що не перевищує $\pm 2^\circ$.

Наведені факти свідчать про досить високу точність визначення кутових параметрів на підставі глибини розробки вугільного пласта.

Кути повних зрушень та граничні кути використовуються при визначенні довжин напівмульд, за допомогою яких визначаються значення очікуваних зрушень і деформацій земної поверхні. Логічно виконати оцінку похибки встановлення довжин напівмульд з використанням отриманих нами залежностей (4.2-4.7) та (4.14-4.16) і порівняти ці напівмульди з розрахованими за діючою методикою [123].

Довжини напівмульд для порівняння обчислювалися за формулами:

– фактична довжина напівмульди:

$$L^\phi = H \cdot ctg\omega_0^\phi + H \cdot ctg\psi^\phi, \quad (5.1)$$

де кути $\omega_{0\phi}$ і ψ_{ϕ} відповідають кутам $\omega_{0\varepsilon}$ і ψ з таблиці Г-1 (Додаток Г);

– довжина напівмульди, розрахована за встановленими нами кутовими параметрами:

$$L = H \cdot ctg\omega_0 + H \cdot ctg\psi, \quad (5.2)$$

де $\omega_{0\varepsilon}$ - кут, розрахований за формулами (4.3), (4.5), (4.7); ψ – кут, розрахований за формулами (4.14 – 4.16) залежно від напрямку перерізу напівмульди;

- Довжина напівмульди, розрахована за "Правилами підробки ..." [123]

$$L^H = h \cdot ctg\phi_0 + (H - h) \cdot ctg\delta_0 + h \cdot ctg\psi_n + (H - h)ctg\psi_k, \quad (5.3)$$

де $\phi_0 = 45^\circ$; $\delta_0 = 65^\circ$; $\psi_n = 45^\circ$, $\psi_k = 55^\circ$.

Результати розрахунків та порівняння довжин напівмульд представлені в табл. 5.1. Розподіл відхилень розрахованих довжин напівмульд від фактичних показано на рис. 5.1.

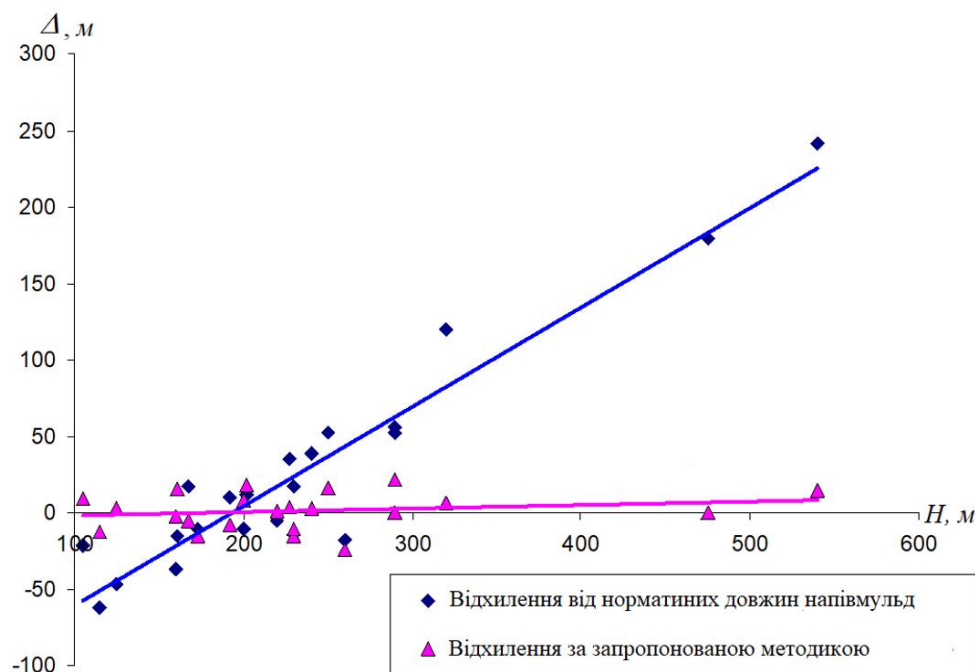


Рис. 5.1 Відхилення розрахованих довжин напівмульд від фактичних

Таблиця 5.1 – Аналіз фактичних і розрахованих довжин напівмульд

Станція	Лінія	Глибина підробітки, м	Потужність наносів, м	Фактичні кутові параметри, град.		Пропоновані кутові параметри, град.		Довжина напівмульд та їх відхилення від фактичних значень, м				
				$\omega_{0\varepsilon}$	ψ	$\omega_{0\varepsilon}$	ψ	L^{Φ}	L^H	$\Delta = L^H - L_{\Phi}$	L	$\Delta = L - L^{\Phi}$
Над виїмковими штреками												
12	3	105	50	51	46	49	45	186	164	-22	195	8
5	5	167	100	52	52	54	51	261	278	17	256	-5
11	2	173	76	53	50	54	52	276	265	-11	261	-14
7	1	192	85	56	51	55	53	285	295	10	277	-8
6	1	227	85	57	56	57	55	301	336	35	305	5
4	1	230	85	55	55	57	55	322	339	17	307	-15
9	2	240	85	58	56	58	56	312	351	39	315	3
29	1	250	80	59	58	58	57	306	358	52	322	16
29	1	290	80	61	57	60	58	349	405	56	349	0
24	2	320	130	60	61	60	60	362	482	120	368	6
Над розрізною піччю												
12	1	115	50	45	43	46	45	238	176	-62	225	-13
13	1	125	50	49	45	47	46	234	187	-47	237	3
10	1	160	65	50	48	50	49	278	241	-37	275	-3
11	1	161	70	52	50	50	49	261	246	-15	276	15
8	1	200	75	52	53	53	51	307	296	-11	315	8
27	1	202	90	53	54	53	51	299	311	12	317	18
14	3	220	85	54	52	54	52	332	327	-5	333	1
4	2	230	85	54	51	54	53	353	339	-14	342	-11
9	1	260	85	53	53	56	54	392	374	-18	368	-24
24	1	290	100	59	56	57	55	370	422	52	392	22
22	1	475	170	64	59	62	61	517	696	179	517	0
23	1	540	180	65	62	64	62	539	780	241	553	14

Аналіз даних табл. 5.1 та графіка розподілу похибок розрахованих довжин напівмульд показує, що використання нормативних куткових параметрів φ_0 , δ_0 , ψ_k , ψ_n призводить до значних помилок. Ці помилки в діапазоні глибин 100 – 550 м набувають значення від -60 до +240 м. При глибинах до 200 м спостерігається зниження значень довжин напівмульд, при $H > 200$ м – завищення. Розподіл помилок (рис. 5.1) свідчить про їх лінійну функціональну залежність від глибини розробки H , отже звідси виникає систематичний характер похибок. Середньоквадратична помилка визначення довжин напівмульд L^H складає ± 77 м.

Розподіл відхилень довжин напівмульд, розрахованих за формулою (5.2), вказує на їх випадковий характер (рис. 5.1), а величини відхилень змінюються від -24 м до 22 м. Середньоквадратична помилка визначення довжин напівмульд L^Φ складає ± 12 м.

Згідно [123] очікувані зрушення та деформації земної поверхні при прогнозі впливу очисних робіт розраховуються в межах напівмульд, у точках з координатами, кратними 0,1 від довжини напівмульди. Отже, похибки, зумовлені невідповідністю нормативних кутів φ_0 , δ_0 , ψ_k та ψ_n фактичних куткових параметрів, викликають помилки у визначенні місць виникнення тих чи інших зрушень та деформацій. Це, у свою чергу, призводить до помилок прогнозу впливу гірничих розробок на об'єкти, що підробляються, і прийняття невірних рішень щодо заходів їх захисту.

Правильне визначення напівмульд на земній поверхні важливе не лише з погляду позиціонування прогнозних зрушень та деформацій щодо границь очисної виробки. Відповідно до формул для розрахунку очікуваних зрушень і деформацій [123] значення довжин напівмульд L безпосередньо впливають на величини очікуваних зрушень та деформацій.

Величина L фігурує у формулах для розрахунку нахилів, кривизни, скручування, горизонтальних деформацій та скошування та у всіх випадках знаходиться у знаменнику (табл. 5.2). Заниження розмірів напівмульди призводить до збільшення величин деформацій, завищення – зменшення.

Таблиця 5.2 – Визначення зрушень та деформацій земної поверхні

Параметр	Напрямок	Позначення	Формула
Осідання	-	η	$\eta = \eta_m \cdot S(z_x) \cdot S(z_y)$
Нахили	простягання	i_x	$i_x = \frac{\eta_m}{L_3} S'(z_x) S(z_y)$
	навхрест простягання	i_y	$i_y = \frac{\eta_m}{L_{1(2)}} S'(z_y) S(z_x)$
	довільне	i_λ	$i_\lambda = i_x \cdot \cos \lambda + i_y \cdot \sin \lambda$
Кривизна	простягання	K_x	$K_x = \frac{\eta_m}{L_3^2} S''(z_x) S(z_y)$
	навхрест простягання	K_y	$K_y = \frac{\eta_m}{L_{1(2)}^2} S''(z_y) S(z_x)$
	довільне	K_λ	$K_\lambda = K_x \cos 2\lambda + K_y \sin 2\lambda + J \sin 2\lambda$
Зкручування	-	J	$J = \frac{i_x S'(z_y)}{L_{1(2)}}$
Горизонтальні зрушення	простягання	ξ_x	$\xi_x = 0,5 \cdot a_0 \cdot \eta_m \cdot S'(z_x) \cdot S(z_y)$
	навхрест простягання	ξ_y	$\xi_y = 0,5 \cdot a_0 \cdot \eta_m \cdot F(z_y) \cdot S(z_x)$
	довільне	ξ_λ	$\xi_\lambda = \xi_x \cdot \cos \lambda + \xi_y \cdot \sin \lambda$
Горизонтальні деформації	простягання	ε_x	$J = \frac{i_x S'(z_y)}{L_{1(2)}}$
	навхрест простягання	ε_y	$\xi_x = 0,5 \cdot a_0 \cdot \eta_m \cdot S'(z_x) \cdot S(z_y)$
	довільне	ε_λ	$\xi_y = 0,5 \cdot a_0 \cdot \eta_m \cdot F(z_y) \cdot S(z_x)$
Зкошування	-	Δ	$\xi_\lambda = \xi_x \cdot \cos \lambda + \xi_y \cdot \sin \lambda$

Похибки очікуваних зрушень і деформацій через помилки визначення довжин напівмульд знаходяться у прямій залежності від глибини розробки H і можуть досягати значних величин. Так похибка розрахунку максимальних

горизонтальних деформацій при глибині розробки $H=600$ м у перерізах напівмульди над розрізною піччю становить 54%, над виїмковими штреками – 77% (рис. 5.2). Результати розрахунків за методикою [123] при глибинах $H > 200$ м виходять заниженими через використання більш пологих кутових параметрів для визначення довжин напівмульд.

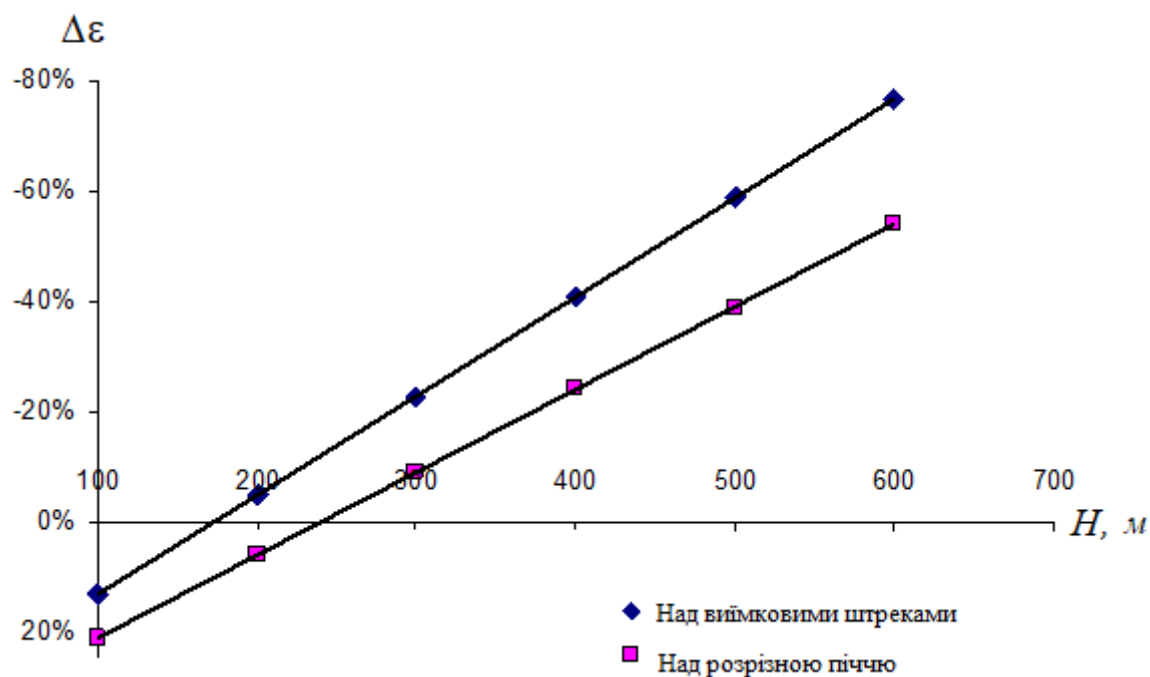


Рис. 5.2 Залежність похибок розрахованих за методикою [123] від глибини розробки та за діючою методикою

5.2 Рекомендації щодо використання результатів дослідження кутових параметрів зрушення земної поверхні в Західному Донбасі

Комплексні дослідження розташування критичних деформацій у крайових частинах мульд зрушення над очисними гірничими виробками шахт Західного Донбасу призводять до основного висновку про недоцільність поділу кутових параметрів зрушення на кути в наносах та корінних породах. Певною мірою це спростить методику визначення границь зони впливу та небезпечного впливу гірничих розробок на земній поверхні.

Уточнена нами відмінність кутових параметрів, що визначаються за прийнятими в даний час критеріями нахилів та горизонтальних деформацій, є

актуальною через велику різноманітність підроблюваних об'єктів та поділ їх за допустимими показниками деформацій земної поверхні та вимогами щодо раціонального вилучення вугілля та застосування заходів захисту [123].

Для висотних інженерних споруд, технологічного обладнання, таких як шахтні підйомні машини, опори ліній електропередач, споруди баштового типу та ін. найбільш небезпечними є нахили земної поверхні. На витягнуті об'єкти та комунікації найнебезпечніший вплив мають горизонтальні деформації. Враховуючи значну відмінність уніфікованих кутів зрушення, встановлених за критеріями нахилів і горизонтальних деформацій, має сенс диференційовано встановлювати границі зони небезпечного впливу для кожної з названих груп об'єктів – залежно від конструктивних особливостей споруди, що підробляється, використовувати для її охорони кутові параметри, встановлені за найбільш небезпечним критерієм. Це дозволить у деяких випадках значно скоротити втрати корисних копалин у запобіжних ціликах. Наприклад, при глибині залягання вугільного пласта 400 м планова розбіжність меж запобіжного цілика, встановлених за критеріями $i = 4 \cdot 10^{-3}$ і $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$ може досягати 115 м.

Інший важливий висновок з результатів виконаних досліджень полягає в необхідності розмежовувати кутові параметри в залежності від розташування перерізів мульди, в яких виконується прогноз впливу гірничих робіт, щодо контурів виробленого простору: над розрізною піччю, над виїмковими штреками та над лінією зупинки очисного вибою. На наш погляд, це має пояснення різницею геомеханічних процесів, що відбуваються навколо очисної виробки і особливостями накопичення напружень і деформацій у масиві, що підробляється, і подальшим його розвантаженням по мірі розвитку гірничих робіт.

Загалом використання кутових параметрів зрушення земної поверхні, що визначаються за встановленими нами закономірностями, значно підвищить точність визначення границь зони впливу та небезпечного впливу гірничих розробок. Це також дозволить усунути невідповідності нормативної методики

прогнозування очікуваних зрушень і деформацій земної поверхні, що мають місце, стосовно умов підземної розробки вугільних пластів на родовищі Західного Донбасу.

5.2.1 Визначення границі зони впливу гірничих робіт

В умовах Західного Донбасу границі мульди зрушення (зони впливу гірничих робіт на земній поверхні) визначаються залежно від критерію, що використовується, глибини розробки та розташування перерізу мульди щодо очисної виробки по граничних кутах, які знаходяться з графіків, наведених на рис. 5.3 або з табл. 5.3.

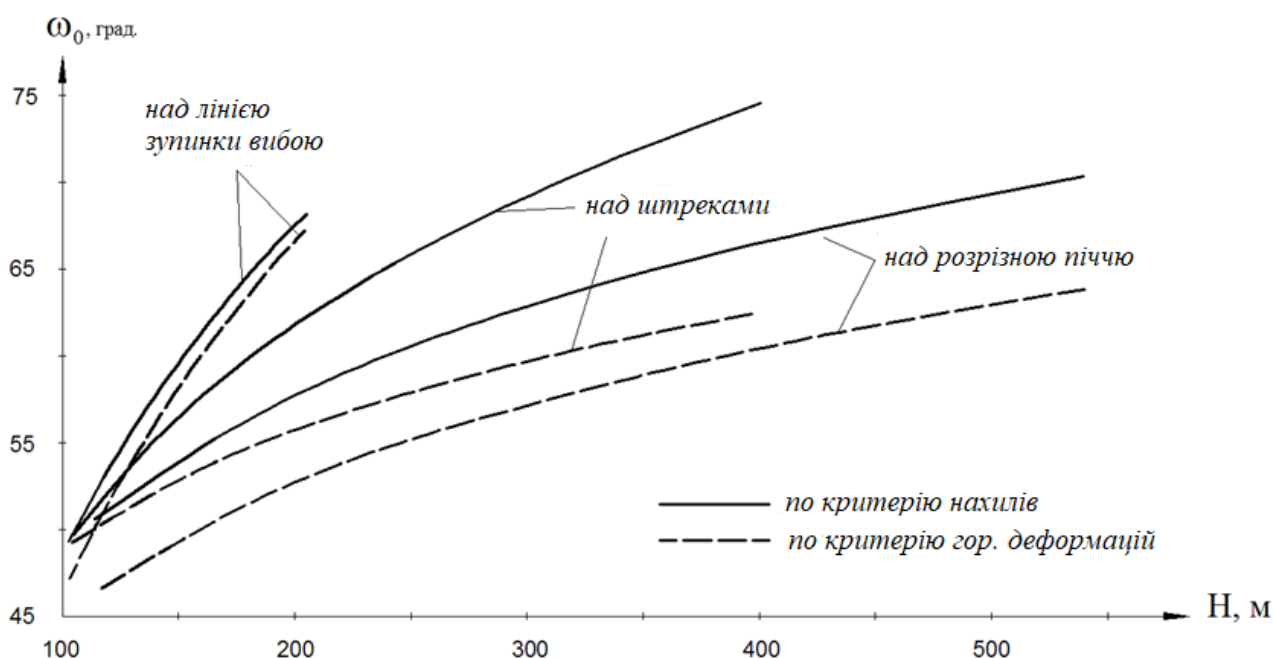


Рис. 5.3 Графіки для визначення граничних кутів у Західному Донбасі

Таблиця 5.3 – Значення граничних кутів ω_0 для умов Західного Донбасу

Розташування перерізу мульди	Кут	Глибина розробки пласта, м										
		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
над виїмковими штреками	ω_{0i}	49	56	62	66	69	72	75	77	79	-	-
	$\omega_{0\varepsilon}$	49	53	56	58	60	61	63	64	65	-	-
над розрізною піччю	ω_{0i}	49	54	58	61	63	65	67	68	69	71	72
	$\omega_{0\varepsilon}$	45	49	53	55	57	59	60	62	63	64	65

над лінією зупинки очисних робіт	ω_{0i}	48	58	65	71	75	79	-	-	-	-	-
	$\omega_{0\varepsilon}$	46	57	64	70	75	79	-	-	-	-	-

5.2.2 Визначення границь зони небезпечного впливу.

Границі зони небезпечного впливу визначаються лініями, проведеними від границь очисної виробки під кутами ω . Значення кутів визначаються залежно від використовуваного критерію, глибини розробки і розташування перерізу мульди щодо очисної виробки за графіками, наведеними на рис. 5.4 або з табл. 5.4.

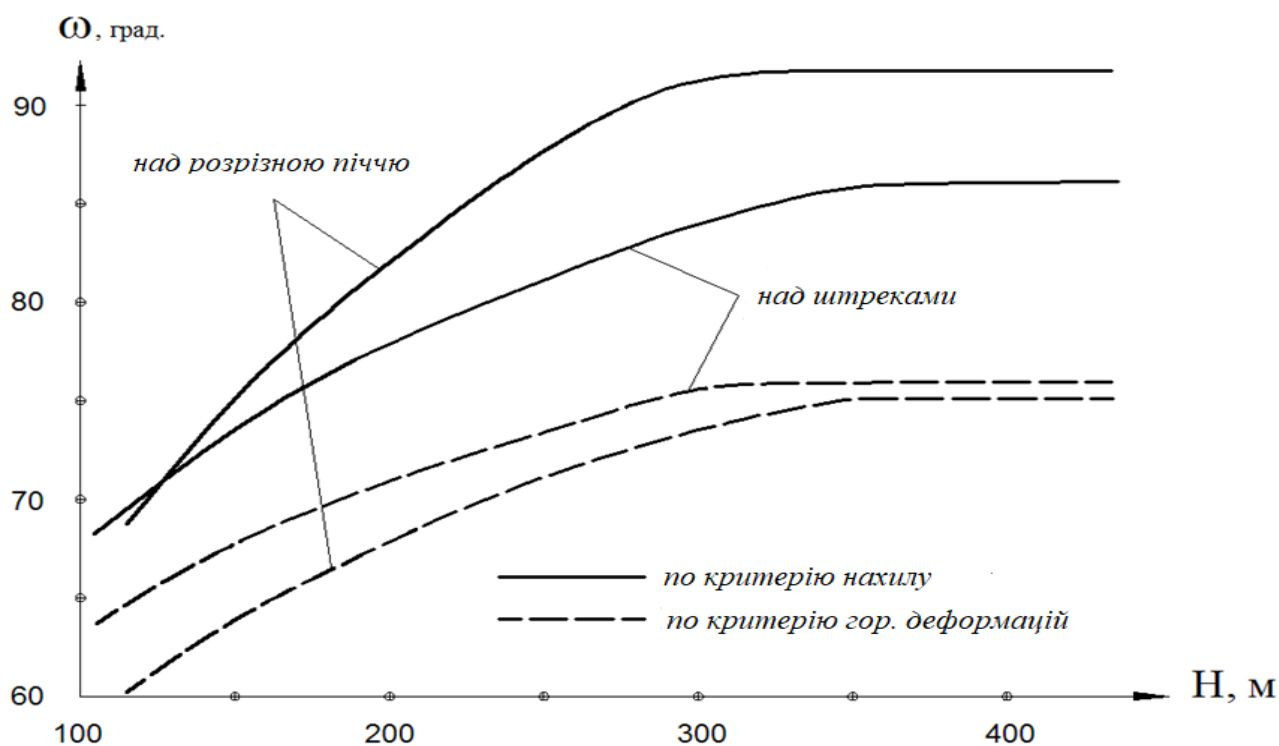


Рис. 5.4 Графіки для визначення кутів зрушення у Західному Донбасі

Таблиця 5.4 – Значення кутів зрушення для умов Західного Донбасу

Розташування перерізу мульди	Кут	Глибина розробки пласта, м							
		100	150	200	250	300	350	400	450
над виїмковими штреками	ω_i	68	74	78	81	84	85	86	86
	ω_ε	63	68	71	73	76	76	76	76

над розрізною піччю	ω_i	65	75	82	88	92	94	95	95
	ω_ε	58	64	68	71	73	75	75	75

5.2.3. Визначення границь плоского дна мульди

При повній підробці земної поверхні границя плоского дна мульди визначається лініями, проведеними під кутами повних зрушень. Значення кутів повних зрушень визначаються залежно від глибини розробки та розташування перерізу мульди щодо очисної виробки за графіками, наведеними на рис. 5.5 або з табл. 5.5.

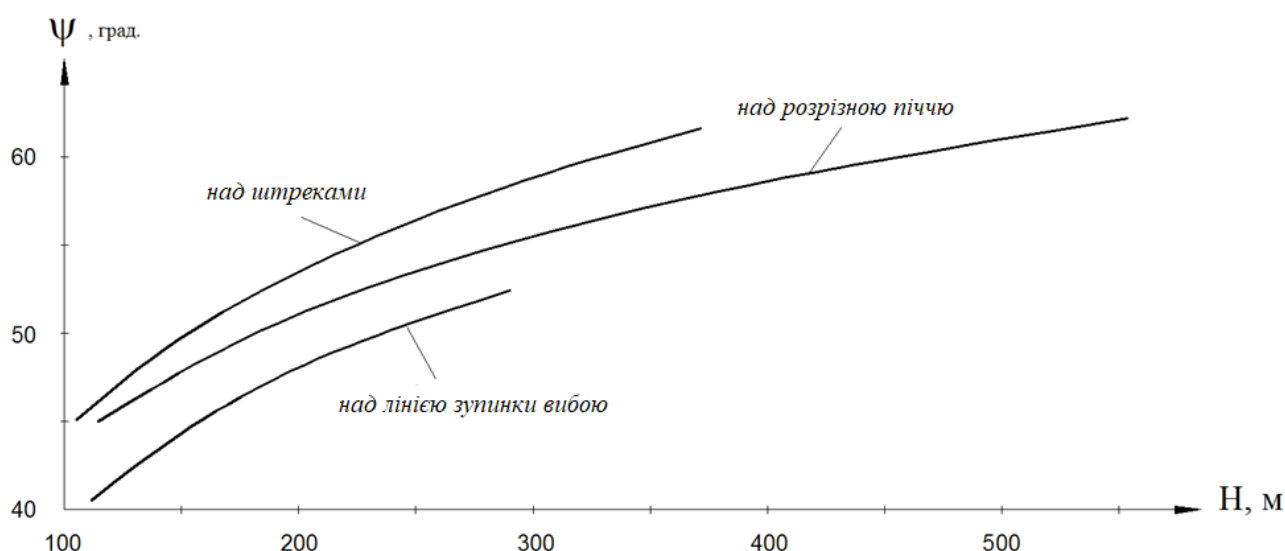


Рис. 5.5 Графіки визначення кутів повних зрушень

Таблиця 5.5 – Значення кутів повних зрушень для умов Західного Донбасу

Розташування перерізу мульди	Кут	Глибина розробки пласта, м									
		100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
над виїмковими штреками	ψ	44	50	54	56	59	61	63	64	66	67
над розрізною піччю	ψ	43	48	51	53	55	57	59	60	61	62
над лінією зупинки очисних робіт	ψ	39	44	48	51	53	55	57	59	60	61

5.2.4 Визначення довжин напівмульд

На шахтах Західного Донбасу відпрацювання вугільних пластів ведеться довгими стовпами по повстанню, іноді за простяганням. З урахуванням малих

кутів падіння порід певною мірою втрачає сенс класифікації напівмульд у мульдї зрушення за ознаками елементів залягання порід. З урахуванням встановлених нами залежностей величин граничних кутів та кутів повних зрушень від напрямку проходження очисної виробки по відношенню до перерізів мульди зрушення слід розрізняти напівмульди над розрізною піччю лави, з боку виїмкових штреків та над лінією зупинки очисних робіт. За аналогією з [123] позначимо ці напівмульди відповідно L_1, L_2, L_3 (рис 5.7).

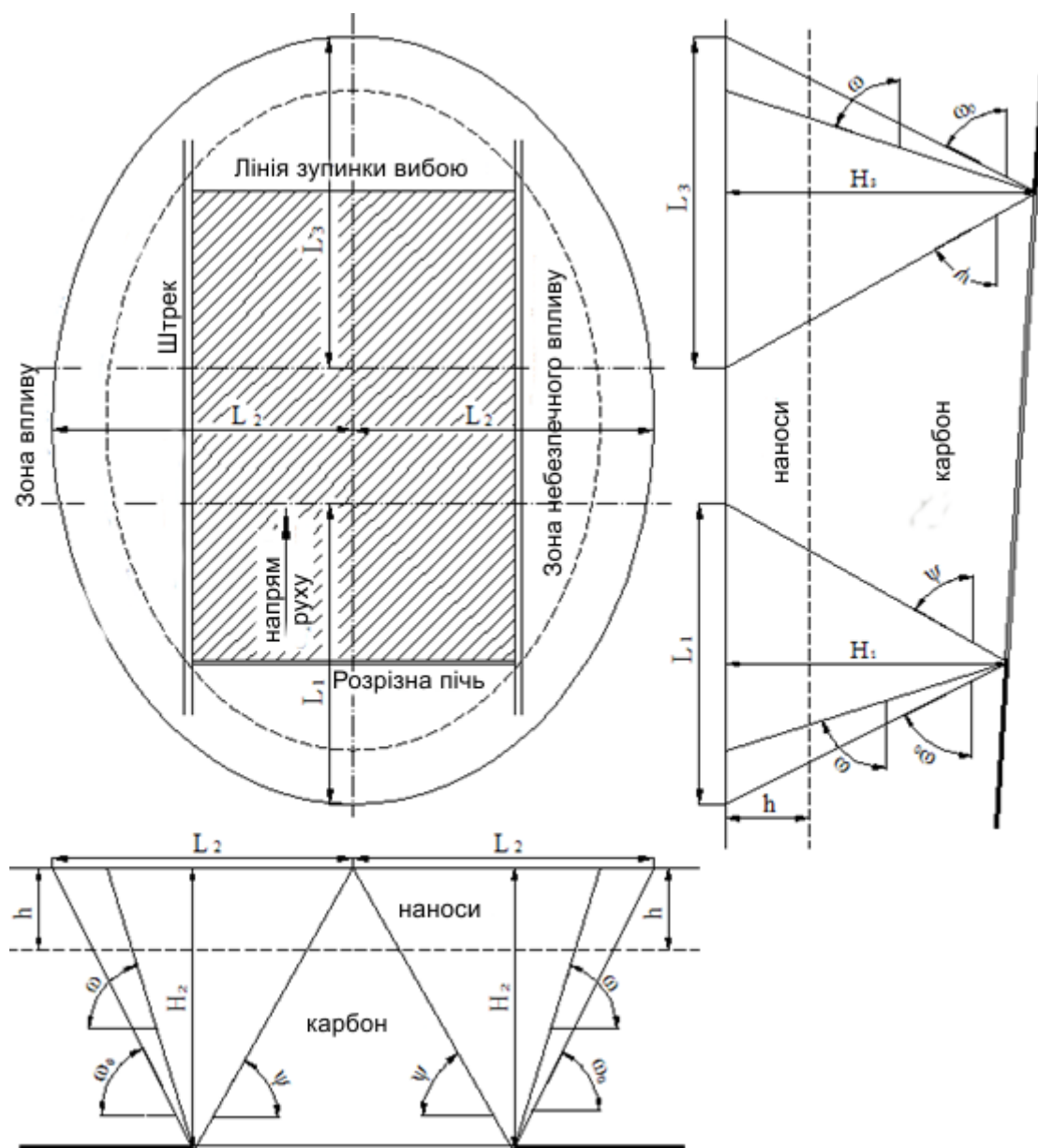


Рис. 5.7. Схема розташування напівмульд щодо границь очисної виробки

При повній підробці земної поверхні довжини напівмульд L_1, L_2, L_3 знаходяться з виразу

$$L_{1,2,3} = H_{1,2,3}(ctg\omega_0 + ctg\psi),$$

де $H_{1,2,3}$ – глибина над границею очисної виробки, відповідно над розрізною піччю лави, з боку виїмкових штреків та над лінією зупинки очисних робіт (визначається на календарному плані гірничих робіт); ω_0, ψ – кути, що визначаються з таблиць 5.3, 5.5 залежно від розташування перерізу мульди.

5.3 Умови застосування методики визначення кутових параметрів в Західному Донбасі

Будь-яка розроблена методика може застосовуватись в чітко визначених умовах, обмежених певними критеріями. Для визначення залежностей кутових параметрів від глибини розробки в проведених дослідженнях використані результати маркшейдерських інструментальних спостережень на шахтах Західного Донбасу, гірничо-геологічні умови яких надані у таблиці Б-1 (додаток Б). Відповідно умови використання запропонованої методики повинні обмежуватися межами мінливості гірничо-геологічних характеристик підробки спостережних станцій застосованих у дослідженнях. Слід зазначити, що технологічні параметри розробки пластів (швидкість просування очисного вибою, довжина стовпа та лави, тип механізованого комплексу) не впливають на процес зрушення, який закінчився. Всі результати досліджень відносяться саме до процесу зрушення земної поверхні, який розглядається після закінчення всіх технологічних процесів видобутку вугілля в очисній виробці та стадії його затухання.

Конкретизуємо умови застосування запропонованої методики:

- регіон видобутку – Західний Донбас;
- марка вугілля – Г;

- спосіб управління покрівлею – повне обвалення;
- потужність пласта, що виймається – 0.7-1.2 м;
- потужність наносів – не регламентується;
- глибина рзробки – 100-600 м;
- відсутність значних тектонічних порушень;
- процес зрушення, що закінчився.

Методика адаптована для первинної підробки земної поверхні, але дослідження проводились також для умов повторної підробки. Результати цих досліджень для обох варіантів підробки збігаються, але для їх підтвердження при повторній підробці слід провести додаткові натурні інструментальні спостереження, а саме встановити вплив на кутові параметри: взаємного розташування розробляємої та відпрацьованої виробок, потужності міжпластя, підробки, надробки.

5.4 Висновки до розділу 5

Основне призначення граничних кутів та кутів повних зрушень полягає в визначенні на земній поверхні напівмульд, за якими виконуються розрахунки очікуваних зрушень та деформацій земної поверхні. Виконані дослідження вказують на значні відмінності у значеннях довжин напівмульд, що визначаються за нормативними кутовими параметрами зрушення земної поверхні та кутами, що розраховуються за встановленими нами залежностями. Середньоквадратична помилка визначення довжин напівмульд за "Правилами підробки..." [123] становить ± 77 м, за пропонованими кутовими параметрами – ± 12 м.

Помилки через застосування фіксованих значень нормативних кутів за характером розподілу та залежності від глибини можуть бути класифіковані як систематичні, у той час як помилки довжин напівмульд, отриманих з використанням залежностей (4.2-4.7), (4.14-4.16), мають випадковий характер.

Величина довжини напівмульди L бере участь у розрахунках нахилів, кривизни, скручування, горизонтальних деформацій та скошування. Використання нормативних значень кутів φ_0 , δ_0 , ψ_k , ψ_n при розрахунках зрушень та деформацій земної поверхні за діючою методикою [123] при глибинах розробки до 200 м призводить до завищених результатів розрахунків, при глибинах понад 200 м – є причиною значного заниження очікуваних деформацій.

Таким чином, нормативні кутові параметри з одного боку невиправдано збільшують розміри напівмульди, а з іншого боку – призводять до недооцінки впливу гірничих робіт на земну поверхню, що може спричинити прийняття невірних рішень щодо забезпечення безпечної підробки поверхневих об'єктів, що охороняються.

Запропоновано графіки для визначення граничних кутів, кутів зрушення та кутів повних зрушень для умов Західного Донбасу залежно від глибини ведення гірничих робіт. Значення кутових параметрів також наведено у табличному вигляді. Виконано класифікацію названих кутів залежно від напрямку проходження очисної виробки по відношенню до перерізів мульди зрушення: над розрізною піччю лави, з боку виїмкових штреків та над лінією зупинки очисних робіт.

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених для умов Західного Донбасу закономірностей розташування критичних значень нахилу та горизонтальних деформацій у мульді зрушення, що залежать від глибини розробки вугільних пластів та напрямку розвитку очисних робіт у лаві щодо головних перерізів мульди. Одержано нове рішення актуального науково-практичного завдання з визначення границь зони впливу та зони небезпечного впливу очисної виробки на земну поверхню з метою вдосконалення методики прогнозування впливу гірничих розробок на будівлі, споруди та природні об'єкти, що підробляються.

Геологічними та гідрогеологічними дослідженнями встановлено, що будова товщі гірських порід у Західному Донбасі характеризується такими загальними показниками:

- велика потужність наносів, що змінюється в широких межах (від 50 до 250 м і більше) з наявністю плавунів і обводнених пісків;
- значна мінливість геометрії поверхні карбону, на якій лежать наносні породи, що призводить до зміни співвідношення потужностей наносів і карбону в широких межах;
- полого, близьке до горизонтального, залягання вугільних пластів.

Дослідження кутових параметрів процесу зрушення слід виконані за результатами натурних інструментальних маркшейдерських спостережень на спостережних станціях, умови підробки яких задовольняють наступним вимогам:

- процес зрушення, що закінчився;
- відсутність впливу тектонічних порушень;
- розташування профільної лінії в одному з головних перерізів мульди зрушення або переріз близькому до нього;
- первинна підробка земної поверхні.

В результаті аналізу згладжених графіків нахилів та горизонтальних деформацій встановлено значення уніфікованих граничних кутів, кутів зрушення та кутів повних зрушень по 31 профільним лініям, які є основою для аналізу та встановлення кутових параметрів, що визначають границі зон впливу та небезпечного впливу очисних гірничих робіт шахт Західного Донбасу на земній поверхні. Крім цього були проаналізовані результати маркшейдерських спостережень на спеціальних спостережних станціях для підтвердження достовірності результатів досліджень.

Основні наукові та практичні результати, висновки та рекомендації роботи полягають у наступному.

Наукові результати:

1. На підставі аналізу та узагальнення результатів вивчення деформування гірських порід і земної поверхні над очисними виробками в Західному Донбасі вперше встановлено, що кутові параметри з високою достовірністю можна вважати уніфікованими в межах підробленої товщі і вони не залежать від співвідношення потужності порід наносів і корінних порід.

2. Вперше встановлено, що положення точок з граничними значеннями нахилів і горизонтальних деформацій земної поверхні, прийнятими як критерії для визначення границь впливу і небезпечного впливу очисних робіт не співпадають.

3. Вперше встановлено, що значення кутових параметрів зрушення земної поверхні не є постійними у межах родовища Західного Донбасу, а закономірно змінюються із збільшенням глибини розробки вугільних пластів. З високим рівнем достовірності залежність кутових параметрів від глибини розробки описується логарифмічними рівняннями, аргументом яких є глибина.

4. Вперше для умов Західного Донбасу встановлено залежність кутових параметрів від напрямку відпрацювання очисної виробки щодо головних перерізів мульди зрушення.

Практичні результати:

1. Отримані залежності для розрахунку унітарних граничних кутів для умов Західного Донбасу, що визначають границі впливу очисних робіт на земній поверхні та враховують деформаційний критерій, глибину розробки вугільного пласта і напрям ведення очисних робіт.

2. Визначені залежності для розрахунку унітарних кутів зрушення, що визначають границі небезпечного впливу очисної виробки, що надає можливість підвищення встановлення границь охоронних ціликів при застосуванні гірничих мір охорони.

3. Встановлені значення унітарних кутів повних зрушень в умовах зміни глибини відпрацювання вугільного пласта та напрямку визначення цих кутів, що підвищує точність визначення довжин напівмульд та прогнозування очікуваних зрушень та деформацій земної поверхні.

Результати дисертаційної роботи надають можливість підвищення достовірності визначення границь зони впливу та небезпечного впливу на земній поверхні, удосконалити методику розрахунку зрушень та деформацій земної поверхні, підвищити надійність заходів охорони об'єктів, що підробляються.

Висновки та рекомендації

1. Застосування фіксованих, диференціально-уніфікованих значень кутових параметрів зрушення гірських порід та земної поверхні для визначення меж мульди та розрахунків очікуваних зрушень та деформацій для умов Західного Донбасу призводить до значних помилок прогнозування впливу очисних робіт на земну поверхню та об'єкти, що підробляються.

2. Кутові параметри зрушення гірських порід і земної поверхні є функцією великої кількості факторів, що впливають, основними і визначальними з яких є глибина розробки вугільного пласта і напрям ведення очисних робіт.

3. Застосування встановлених залежностей для визначення значень кутових параметрів в умовах Західного Донбасу підвищить точність

встановлення границь зони впливу, зони небезпечного впливу очисної виробки та границь плоского дна мульди зрушення на земній поверхні. Це дозволить більш обґрунтовано прогнозувати вплив очисних робіт, здійснювати диференційований підхід до вибору та призначення заходів охорони об'єктів, що підробляються. В окремих випадках буде досягнуто більш ефективного відпрацювання запасів вугілля внаслідок скорочення втрат у запобіжних цілках.

Методика адаптована для первинної підробки земної поверхні, але дослідження проводились також для умов повторної підробки. Результати цих досліджень для обох варіантів підробки збігаються, але для їх підтвердження при повторній підробці слід провести додаткові натурні інструментальні спостереження, а саме встановити вплив на кутові параметри: взаємного розташування розробляємої та відпрацьованої виробок, потужності міжпластя, підробки, надробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авершин С.Г. Некоторые свойства процесса сдвижения горных пород и вопросы расчета сдвижений // Сборник трудов по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ – 1961. – Сб. 43. – С. 3-21.
2. Кучин О.С., Назаренко В.О., Бруй Г.В., Балафін І.Є. Моделювання поверхні зрушення за допомогою ГІС технологій при розробці родовищ корисних копалин. Друга міжнародна науково-технічна конференція «Виклики забезпечення мінеральною сировиною України в умовах повоєнної відбудови – 2024» 09-10 травня, 2024. НТУ ДП, Дніпро, Україна.
3. Кучин О.С., Масик О.О., Беліченко О.В. Дослідження кутових параметрів процесу зрушення при повторній підробці в умовах Західного Донбасу / О.С. Кучин, О.О.Масик, О.В. Беліченко // Збірник наукових праць НГУ.: Національний ТУ «Дніпровська політехніка». 2020. – № 61. – С. 27 – 36.
4. Кучин А.С. Совместный анализ процесса сдвижения земной поверхности и массива слабометаморфизованных горных пород / А.С. Кучин // Геотехнічна механіка.: Національна академія наук України. 2016. – Вип. 130. – 13-19.
5. Кучин О.С., Балафін Є.І. Модель зрушення земної поверхні в умовах очисного вибою, що рухається / О.С. Кучин, Є.І. Балафін // Вісник ЖДТУ. – 2016 – №3 (78). – С. 119-12.
6. Акимов А.Г. Величины сдвижений и деформаций земной поверхности в зависимости от мощности наносов // Охрана сооружений от вредного влияния горных работ и расчет устойчивости бортов угольных разрезов / Тр. ВНИМИ – 1983. – С. 37-49.
7. Акимов А.Г. О расчете предохранительных целиков для глубоких стволов шахт Донбасса // Сборник статей по вопросам исследования

- горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ – 1959. – Сб. 36. – С. 68-77.
8. Акимов А.Г. Общие закономерности деформирования и сдвижения горных пород при разработке глубоких горизонтов // Исследование проявлений горного давления на глубоких горизонтах шахт / ВНИМИ. – 1971. – Сб. 88. – С. 317-326.
 9. Акимов А.Г. Определение размеров краевой части мульды сдвижения // Сдвижение горных пород / ВНИМИ – 1975. – Сб. 96. – С. 28-36.
 10. Акимов А.Г., Болучевский В.И., Кулов К.В. Прогнозирование деформаций глубоких шахтных стволов в Карагандинском бассейне // Совершенствование методов расчета сдвижений и деформаций горных пород, сооружений, бортов разрезов при разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях / Тр. ВНИМИ – 1985. – С. 3-10.
 11. Балафін І.Є., Бруй Г.В. Зрушення земної поверхні і гірського масиву в плоскому дні мульди зрушення // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – 2008.– № 77. – С.122-129.
 12. Акимов А.Г., Давыдович А.Н. Экспериментально-аналитический способ расчета деформаций в краевой части мульды сдвижения // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ – 1972. – Сб. 86. – С. 17-25.
 13. Балафин И.Е., Назаренко В.А., Кучин А.С. Закономерности изменения максимальных оседаний и наклонов земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения // Наукові праці УкрНДМІ. – 2009. – №5. ч.1. – С.267-275.
 14. Акимов А.Г., Козел А.М. Защита вертикальных шахтных стволов от влияния очистных выработок.– Изд-во "Недра", 1969 – 167 с.
 15. Балафін І.Є. Развитие вертикальных деформаций и горизонтальных сдвижений над движущимся очистным забоем // Науковий вісник НГУ.

– Дніпропетровськ. – 2009. – № 8. – С.7-10.

16. Акимов А.Г., Хакимов Х.Х. Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности, вызываемых подземными разработками // Технология добычи угля подземным способом. – М.: Недра, 1969. – Вып. 2. – С. 9-14. – /Реф. сб. ЦНИЭИуголь/.
17. Барсуков И.В., Голотвин А.Д. Расчет деформаций в краевой части мульды сдвижения при выемке пологих пластов угля // Изв. вузов. Горный журнал. – 1986. – № 3. – С. 42-45.
18. Балафин И.Е. Анализ угловых параметров сдвижения земной поверхности на шахтах Западного Донбасса / И.Е. Балафин // Науковий вісник НГУ. –2010. – № 5. – С 18-20.
19. Батугин С.А. Сдвигения и деформации земной поверхности и горных пород над движущимся забоем // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ – 1962. – Сб. 47. – С. 159-199.
20. Балафин І.Є., Назаренко В.О. Об унитарном характере граничных углов в условиях Западного Донбасса // Вісник Криворізького технічного університету. – 2011. – Вип. 28. – С.27-29.
21. Балафін І.Є., Кучин О.С. (11.07.2025). Про унітарний характер граничних кутів в умовах Західного Донбасу. Матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Transcending boundaries: unraveling the dynamics of cutting-edge research and its transformative impact on the global sphere». (с. 75-76). Дніпро, Україна. ISBN 978-617-8293-51-2.
22. Бошенятов Е.В. Закономерности сдвижений и деформаций горных пород при большой глубине разработки // Изучение и прогнозирование сдвижений и деформаций массивов горных пород, гидрогеомеханических процессов при разработке месторождений подземным и открытым способом / Сб. научн. тр.-в.: ВНИМИ, 1991.– С.

4-14

23. Бугара М.И., Коломиец В.А. Анализ сдвижений поверхности при отработке одиночной лавы //Известия Донецкого горного института, 2001.– № 2.– С. 10-13.
24. Варлашкин В.М. Определение максимальных деформаций земной поверхности в зависимости от длины интервала // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ. – 1959. – Сб. 36. – С. 41-45.
25. Ведяшкин А.С., Абельсентов К.Б., Магруппов С.К. Методика исследования дискретности процесса сдвижения // Сдвигения и деформации массива при разработке месторождений с учетом структуры и механических свойств горных пород / ВНИМИ. – 1977. – Сб. 104. – С. 10-16.
26. Внедрение временного руководства по расчету деформаций земной поверхности во времени с целью совершенствования мер охраны сооружений и природных объектов в Западном Донбассе и накопления исходных данных для его усовершенствования/ Отчет по НИР 724-1/010301 (760.61860).–Днепропетровск, ДГИ, 1981
27. Внедрение временного руководства по расчету деформаций земной поверхности во времени с целью совершенствования мер охраны сооружений и природных объектов в Западном Донбассе и накопления исходных данных для его усовершенствования (заключительный)/ Отчет по НИР 724-1/010301 (760.61860). – Книга 2.–Днепропетровск, ДГИ, 1983
28. Внедрение временного руководства по расчету деформаций земной поверхности во времени с целью совершенствования мер охраны сооружений и природных объектов в Западном Донбассе и накопления исходных данных для его усовершенствования (заключительный)/ Отчет

- по НИР 724-1/010301 (760.61860). – Книга 1.–Днепропетровск, ДГИ, 1983
29. Кучин А.С. Механизм сдвижения горных пород в условиях движущегося очистного забоя / О.С. Кучин //Збірник наукових праць НГУ.: НГУ. – 2017. – № 50. – С. 241 – 250.
30. Кучин О.С., Масик О.О. Дослідження відносних максимальних осідань та горизонтальних зрушень при повторній підробці в умовах Західного Донбасу / О.С. Кучин, О.О.Масик. Збірник наукових праць НГУ.: Національний ТУ «Дніпровська політехніка». 2021. № 65).
31. Вязниковцев О.И. Об учете физико-механических свойств горных пород при расчете деформаций земной поверхности // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ. – 1971. – Сб. 83. – С. 34-37.
32. Гавриленко Ю.Н. Математическое моделирование сдвижений горных пород и земной поверхности в слоистом массиве методом конечных элементов // Известия донецкого горного института. – 1997. – № 1. – С. 87-93.
33. Гавриленко Ю.Н., Петрушин А.Г. Численное моделирование процессов сдвижения массива горных пород и земной поверхности методом конечных элементов в объемной постановке //Физико-технические проблемы горного производства ; Под ред. А.Д. Алексеева / Сб. тр. – Донецк: ООО "Лебедь", 2001. – Вып. 3. – С. 12-25.
34. Гавриленко Ю.Н., Чижиков С.Ф., Сирый М.В. Сдвижение горных пород вокруг очистной выработки в Центральном районе Донбасса // Разработка месторождений полезных ископаемых / Сб. тр. – Киев: Техника, 1987. – Вып. 87. – С. 40-44.
35. Галахов Ф.В. К методике предрасчета сдвижений поверхности в связи с рудничными разработками // Известия Центр. научн.-иссл. маркш. бюро

/ ЦНИМБ. – 1985. – Вып. 2. – С. 77-83.

36. Гвирцман Б.Я. Определение углов сдвижения по допустимым деформациям земной поверхности // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ. – 1972. – Сб. 86. – С. 65-68.
37. Ершов Н.М. Аналитическое исследование поверхности мульды сдвижения // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ. – 1958. – Сб. 32. – С. 18-31.
38. Кучин О.С., Бруй Г.В., Янкін О.Є. Моделювання просторового зміщення точок земної поверхні за результатами геодезичних спостережень /Просторовий розвиток: Науковий збірник / – К., КНУБА, 2023. – Вип. 3. – С. 122-131
39. Зборщик М.П. Механизм сдвижения горных пород надрабатываемой толщи при отработке пологих пластов на глубоких горизонтах// Разработка месторождений полезных ископаемых. – Киев: Техника, 1984. – Вып. 67. – С. 89-94.
40. Зборщик М.П., Назимко В.В. Охрана выработок глубоких шахт в зонах разгрузки. – К.: Техника, 1991. – 248 с.
41. Земисев В.Н. Определение напряжений в угольном пласте с учетом сдвижения земной поверхности // Сдвижение горных пород / ВНИМИ. – 1975. – Сб. 96. – С. 33-40.
42. Земисев В.Н. Схемы сдвижения горных пород при пологом залегании пластов // Исследование проявлений горного давления на глубоких горизонтах шахт / ВНИМИ. – 1971. – Сб. 88. – С. 327-336.
43. Земисев В.Н., Линьков А.М., Филиппов Н.А. Об оседаниях пласта в зоне опорного давления // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ. – 1972. – Сб. 85. – С. 193-

198.

44. Шашенко А. Н. Численное решение упругопластической задачи применительно к устойчивости подземных выработок/ А. Н. Шашенко, С.Н. Гапеев // Науковий вісник НГУ.– Дніпропетровськ: НГУ, 2007.– №12.
45. Зорин А.Н., Халимендик Ю.М., Колесников В.Г. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых: ООО "Недра-Бизнесцентр", 2001. – 413 с.
46. Зоря Н.М. Опыт моделирования эквивалентными материалами процесса сдвижения горных пород и земной поверхности // Изв. вузов. Горный журнал. – 1958. – С. 73-81.
47. Зоря Н.М., Музафаров Ф.И. Схема механизма сдвижения толщи пород при выемке пологих пластов угля одиночной лавой // Уголь Украины. – 1966. – № 12. – С. 9-12.
48. Горохов Д.А., Ожигин Д. С., Ожигина С. Б.,Н. А. Дорош, Д. А. Кулыгин, Ю. Б. Воробьева. Инструментальные наблюдения за деформациями техногенных объектов / Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Республика Казахстан, Национальный горный университет. – Алматы, , 2017. С. 20-27.
49. Инструкция по наблюдениям за сдвижением земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях/ Мин-во угольн. пром-ти УССР, 1989. – 96 с.
50. Джангулова Г.К., Жеребко Л.Н., Куанышкызы А. Влияние обширных зон обрушения на состояние и поведение поверхности в результате ведения подземных горных работ / KazNU Bulletin. Geography series. No2 (41) 2015, С.243-247.
51. Иофис М.А., Фастов Г.А. Характер развития деформаций в полумульде над движущимся забоем // Горное давление, сдвижение горных пород и

- методика маркшейдерских работ / ВНИМИ. – 1965. – Сб. 55. – С. 143-149.
52. Иофис М.А., Черняев В.И. Аналитико-экспериментальный метод расчета сдвижений и деформаций // Изв. вузов. Горный журнал. – 1972. – № 11. – С. 53-56.
 53. Исследование оптимальных горно-геологических факторов, определяющих условия отработки угольных пластов вблизи наносов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 724-1 (70002642).–Днепропетровск, ДГИ, 1969.
 54. Исследование основных горно-геологических факторов, определяющих условия отработки угольных пластов вблизи наносов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 724-1 (70002642).–Днепропетровск, ДГИ, 1967.
 55. Исследование основных горно-геологических факторов, определяющих условия отработки угольных пластов вблизи наносов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 724-1 (70002642).–Днепропетровск, ДГИ, 1968.
 56. Исследования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 645.–Днепропетровск, ДГИ, 1965.
 57. Исследования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 645.–Днепропетровск, ДГИ, 1966.
 58. Исследования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 645.–Днепропетровск, ДГИ, 1967.
 59. Исследования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 645.–Днепропетровск, ДГИ, 1968.
 60. Исследования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности

при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 645.–Днепропетровск, ДГИ, 1969.

61. Исследования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 645.– Днепропетровск, ДГИ, 1970.
62. Исследования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 645.–Днепропетровск, ДГИ, 1971.
63. Казаковский Д.А. К изученности некоторых вопросов сдвижения горных пород на угольных шахтах // Сдвигения и деформации массива при разработке месторождений с учетом структуры и механических свойств горных пород / ВНИМИ. – 1953. – Сб. 27. – С. 68-89.
64. Колбенков С.П. Аналитическое выражение типовых кривых сдвижения поверхности // Сдвигения и деформации массива при разработке месторождений с учетом структуры и механических свойств горных пород / ВНИМИ. – 1961. – Сб. 43. – С. 46-49.
65. Колбенков С.П. Оценка точности измеренных и расчетных величин деформаций земной поверхности // Сдвигения и деформации массива при разработке месторождений с учетом структуры и механических свойств горных пород / ВНИМИ. – 1961. – Сб. 43. – С. 32-38.
66. Колбенков С.П., Павлов А.Н. К вопросу расчетов деформаций земной поверхности // Труды по вопросам горного давления, сдвижения горных пород и методики маркшейдерских работ / ВНИМИ. – 1963. – Сб. 50. – С. 114-130.
67. Бубнова О.А. Взаимосвязь продолжительности процесса сдвижения и деформаций крепи выработок / Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов.- Днепропетровск:-2003.-№ 47 .- С.231-235
68. Кулібаба С. Б. Розподіл осідань земної поверхні у мульді зрушень [Текст]

/ С. Б. Кулибаба, М. Д. Рожко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України: зб. наук. пр. – Донецьк, 2008. – № 3. – С. 141-152.

69. Костенич В.С. Определение величины наибольшего оседания при ведении горных работ с обрушением кровли // Сдвигения и деформации массива при разработке месторождений с учетом структуры и механических свойств горных пород / ВНИМИ. – 1964. – Сб. 52. – С. 76-83.
70. Костерин М.А. Влияние крепости горных пород на исходные угловые параметры сдвига земной поверхности // Изв. вузов. Горный журнал. – 1984. – № 8. – С. 44-49.
71. Костерин М.А., Костерин И.М. Влияние крепости горных пород и угла падения пласта на сдвиг земной поверхности // Изв. вузов. Горный журнал. – 1984. – № 1. – С. 24-30.
72. Кучин А.С. Сдвиг массива горных пород в Западном Донбассе / А.С. Кучин // Проблеми гірського тиску. Збірник наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ. – 2011. – Вип.19 – С.38-61.
73. Кулибаба С.Б. Расчет горизонтальных сдвижений подрабатываемого массива горных пород // Современные пути развития маркшейдерско-геодезических работ на базе передового отечественного и зарубежного опыта / Придніпровський науковий вісник. – № 118-119. – НГА Украины, Днепропетровск, 1998. – С. 71-75.
74. Кулибаба С.Б., Рожко М.Д., Хохлов Б.В. Определение точек максимальных наклонов в мульде сдвига // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. – 2009. – Вип. 9(143). – Донецьк. – С. 158-167.
75. Кулибаба Я.И. О возможном способе описания сдвига горных пород при подземной разработке // Совершенствование технологии подземных горных работ: Научн. сообщения / Ин-т горного дела им. А.А. Скочинского. – 1984. – Вып. 227. – С. 97-104.

76. Кучин А.С. Горизонтальные смещения земной поверхности над движущимся очистным забоем / А.С. Кучин // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ. – № 3. – 2011.– С.26-31.
77. Кучин А.С., Пиньковский Г.С. Анализ угловых параметров процесса сдвижений в зоне отхода лавы от разрезной печи / Науковий вісник НГА України. Дніпропетровськ. №7, 2003.–С.33-36
78. Кучин О.С. Вплив напрямку руху очисного вибою на процес зрушення у Західному Донбасі // Вісник ЖДТУ. – 2003. – №3. – С. 196-200.
79. Кучин А.С. О влиянии свойств подрабатываемого массива на сдвижение земной поверхности в Западном Донбассе / А.С. Кучин, В.А. Назаренко, Е.Г. Петрук // Сборник научных трудов НГА Украины. – Днепропетровск: РИК НГА Украины, 2002.– №15. – С. 45-49.
80. Кучин А.С., Пиньковский Г.С. Влияние направления отработки очистной выработки на характер распределения деформаций земной поверхности // Труды междунар. науч.-техн. конф. «Геоинформатика, геодезия, маркшейдерия». –Донецк: ДНТУ – 2003. – С.90-96.
81. Ларченко В.Г. Закономерности сдвижений и деформаций земной поверхности при отработке свиты пологих пластов // Сборник научных трудов НГА Украины. – 2001. – № 12, Том 2. – С. 36-39.
82. Кольчик А.Е., Кольчик И.Е. Исследование динамики сдвижения земной поверхности после прекращения ведения очистных работ / А.Е. Кольчик, И.Е. Кольчик // Матеріали конференції «Геотехнології і охорона праці у гірничій промисловості». – Красноармійськ: КП ДонНТУ, 2008. – С. 7–12.
83. Липкович С.М. К вопросу о граничных линиях сдвижения и углах сдвижения при работе на больших глубинах // Уголь. – 1965. – № 2. – С. 25-27.
84. Кольчик Є.І. Геомеханічне обґрунтування стійкості виїмкових виробок

при інтенсивній відробці вугільних пластів: автореф. дис. д-ра техн. наук / Є.І. Кольчик; НАН України. Ін-т фізики гірн. процесів. — Донецьк, 2007. — 34 с. — укр.

85. Максимов А.П. и др. Исследование проявления горного давления, физико-механических свойств и состояния горных пород в условиях основных и подготовительных выработок шахт Западного Донбасса с целью наиболее эффективного их проведения, охраны и эксплуатации (Отчет по теме №646, НИС ДГИ), Днепропетровск
86. Медянцеv А.Н. Определение интенсивности сдвигения земной поверхности над горными выработками // Сдвигения и деформации массива при разработке месторождений с учетом структуры и механических свойств горных пород / ВНИМИ. — 1968. — Сб. 68. — С. 343-348.
87. Медянцеv А.Н. Сдвигение горных пород и земной поверхности под влиянием горных выработок. — Новочеркасск: Изд-во Новочеркасского политехн. ин-та, 1976. — 83 с.
88. Медянцеv А.Н., Иванов И.Ю., Архипов А.Н. Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности по площади при маркшейдерском обеспечении городских кадастров // Горный информационно-аналитический бюллетень.— 2000. — № 6. — С. 42-44.
89. Медянцеv А.Н., Иофис М.А. Определение оптимальных размеров предохранительных целиков угля в Донбассе // Разработка месторождений полезных ископаемых: сб. тр. — Киев: Техника, 1975. — Вып. 40. — С. 40-43.
90. Медянцеv А.Н., Иофис М.А. Углы сдвигения горных пород в Донецком и Карагандинском угольных бассейнах // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвигения горных пород / ВНИМИ. — 1959. — Сб. 36. — С. 87-93.

91. Медянцев А.Н., Иофис М.А., Мазурова А.И. Графики распределения сдвижений и деформаций земной поверхности над горными выработками в Донбассе // Сдвигения и деформации массива при разработке месторождений с учетом структуры и механических свойств горных пород / ВНИМИ. – 1962. – Сб. 47. – С. 140-154.
92. Медянцев А.Н., Черняев В.И. Сдвигение и деформации горных пород в подрабатываемой толще // Уголь Украины. – 1961. – № 11. – С. 25–27
93. Методические указания по расчету деформаций земной поверхности во времени и горногеометрическому прогнозированию охраны пойм рек при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе / Е.Г. Петрук, А.В. Онищенко, А.И. Воронкин. – Донецк : ЦБНТИ, 1986. – 55 с.
94. Морин С.В. Распределение вертикальных сдвижений и деформаций в мульде // Изв. вузов. Горный журнал. – 1986. – № 7. – С. 52-54.
95. Морин С.В., Барсуков И.В. Характер деформирования подработанного массива горных пород в зоне обрушения и интенсивных расслоений // Изв. вузов. Горный журнал. – 1987. – № 9. – С. 39-41.
96. Гаврюк Г.Ф. Зрушення земної поверхні на пластових родовищах Придніпров'я: Монографія / Г.Ф. Гаврюк, Г.А. Антипенко, О.С. Кучин, В.О. Назаренко; За ред. В.О. Назаренка. – Д.: Національний гірничий університет. – 2010. – 184 с.
97. Муллер Р.А. Параметры теоретического метода расчета деформаций земной поверхности// Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвигения горных пород/ ВНИМИ.– 1964.– Сб. 52.– С. 24-40.
98. Муллер Р.А. Расчет сдвигения горных пород под влиянием подземных разработок при горизонтальном и пологом залегании пород // Исследования по вопросам горного и маркшейдерского дела/ ВНИМИ. – 1957. – Сб. 31. – С. 31-57.

99. Мурашов А.Н. Анализ параметров процесса сдвижения земной поверхности в Карагандинском бассейне // Труды по вопросам горного давления, сдвижения горных пород и методики маркшейдерских работ / ВНИМИ. – 1963. – Сб. 50. – С. 160-174.
100. Мякенький В.И. Сдвижение и дегазация пород и угольных пластов при очистных работах. – Киев: Наукова думка, 1975. – 99 с.
101. Назаренко В.А. О влиянии строения горного массива на подработанность застроенных территорий городов Западного Донбасса // Проблемы и перспективы освоения подземного пространства крупных городов / Сб. тр. – Днепропетровск: Изд. НГАУ, 1997. – С. 70-74.
102. Назаренко В.А. О некоторых особенностях геометрического строения поверхности динамической мульды сдвижения // Науковий вісник НГА України. – 2001. – №6. – С. 5-11.
103. Назаренко В.А. Распределение вертикальных сдвижений в главном сечении динамической мульды / Сборник научных трудов НГА Украины № -Днепропетровск: РИК НГА Украины, 2002.– С.43-52.
104. Гавриленко Ю.М. Особливості застосування методу скінченних елементів для моделювання процесів зрушення масиву гірських порід і земної поверхні у просторовій постановці / Гавриленко Ю.М., О.Г. Петрушин // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: гірничо-геологічна. – Донецьк: ДонНТУ. – 2009. - Вип. 143. – С. 181-198.
105. Назаренко В.А., Мякенький В.И. Графо-аналитический метод определения угловых параметров мульды сдвижения // Разработка месторождений полезных ископаемых / Сб. тр. – Киев: Техника, 1994. – вып. 91. – С. 23-26.
106. Бубнова О.А. Взаємозв'язок деформацій контуру дільничних виробок з параметрами зсуву надвугільної товщі на шахтах Західного Донбасу:

- автореф. дис. канд. техн. наук / О.А. Бубнова; НАН України. Ін-т геотехн. механіки ім. М.С.Полякова. — Д., 2008. — 19 с. — укр.
107. Бубнова Е.А. Горизонтальные деформации в динамической мульде сдвижения / Е.А. Бубнова // Геотехническая механика. — Днепропетровск: ИГТМ. — 2006. — № 62. — С. 127–133.
 108. Оглоблин Д.Н., Зоря Н.М., Кренев Н.И. Схема сдвижения горных пород при выемке одного пологопадающего пласта // Изв. вузов. Горный журнал. — 1960. — № 2. — С. 12-18.
 109. Онищенко А.В. Расчет углов сдвижения в разных слоях горных пород по результатам наблюдений за сдвижением земной поверхности // Изв. вузов. Горный журнал. — 1968. — № 1. — С. 35-38.
 110. Орлов Г.В., Пашкевич В.В. О теоретических предпосылках методов расчета сдвижений земной поверхности при подземных разработках // Горный информационно-аналитический бюллетень.— 2000. — № 6. — С. 22-27.
 111. Бондаренко В.І. Обґрунтування і дослідження просторової геомеханічної моделі зсунення навколо пластової виробки тонкошарового масиву слабких порід / В.І. Бондаренко, І.А. Ковалевська І.А., Г.А. Симанович , М.В. Фомичев // Вісті Донецького гірничого інституту. —2009. —№1. С. 183-189.
 112. Петрук Е.Г. Исследование деформаций земной поверхности в мульде сдвижения по времени // Изв. вузов. Горный журнал. — 1969. — № 1. — С. 40-43.
 113. Петрук Е.Г. Управление деформационными процессами в динамической мульде сдвижения при подземной разработке пологих угольных пластов / Автореф. докт. дисс. — Днепропетровск: ВПОП "Дніпро", 1994. — 34 с.
 114. Петрук Е.Г., Ларченко В.Г. Расчет горизонтальных деформаций земной поверхности при движущемся забое // Изв. вузов. Горный журнал. — 1976.

- № 7. – С. 75-78.
115. Петухов И.А. Влияние наносов на процесс сдвижения горных пород // Уголь. – 1951. – № 2. – С. 28.
116. Петухов И.М., Сидоров В.С. К определению ширины зоны опорного давления // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ. – 1971. – Сб. 82. – С. 56-81.
117. Планирование горных работ при отработке свит выбросоопасных угольных пластов / В.И. Черняев, М.П. Зборщик, Н.Н. Грищенко, Б.И. Нестеренко. – Донецк: ДонГТУ, 1998. – 141 с.
118. Полонский В.И. К вопросу расчета деформаций земной поверхности у края мульды по простирацию в условиях пологого и наклонного залегания пластов // Труды по вопросам горного давления, сдвижения горных пород и методики маркшейдерских работ / ВНИМИ. – 1963. – Сб. 50. – С. 194-202.
119. Балафин И.Е. О значениях граничных углов в Западном Донбассе / И.Е. Балафин, А.С. Кучин, В.А. Назаренко // Наукова весна – 2011: Матеріали II науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених (Дніпропетровськ, 25 березня 2010 долі). – Д.: ДВНЗ НГУ, 2011. - 436 с.
120. Построение зон защиты и ПГД для условий больших глубин/ Методика КД 12.07.301-96. – УкрНИМИ.-1997.-44 с.
121. Balafin I., Nazarenko V., Brui H. & Kuchin O. Investigation of reused preparatory workings deformations of as a result of cleaning operations // Mongolian Geoscientist, 2025. – №30(60). – S1–9.
122. Balafin I., Kuchin O., Nazarenko V. & Bruy H. Regularities of deformation of preparatory workings for reuse in weak rocks of the Western Donbas // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2025.
123. Правила підробки будівель, споруд та природних об'єктів при

- видобуванні вугілля підземним способом: ДСТУ 101.00159226.001-2003. – К.: Мінпаливенерго України, 2003. – 126с.
124. Balafin I., Kuchin O., Nazarenko V. & Bruy H. Displacement Earth's surface modeling with GIS technologies use in the mining of mineral deposits // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2025. DOI 10.1088/1755-1315/1481/1/01200.
125. Balafin I.E., Kuchin O.S., Chemakina M.V. Displacement of undermining rock mass above the moving longwall // Scientific Bulletin of National Mining University, 2017. – № 1. – с55-60.
126. Nazarenko V., Khalimendik Y., Kuchin A., Stelmashuk E., Chemakina M. Dependence of the maximum surface subsidence on setup entry distance / V. Nazarenko, Y. Khalimendik, A. Kuchin, E. Stelmashuk, M. Chemakina // Scientific reports on Resource Issues. – 2010. – vol. 2. – S. 169-173.
127. Ritter W. Die Static Der Tunnel Gewolbe / W. Ritter. – Berlin. – 1879.
128. Трифонов А.В., Медянцев А.Н. Влияние смежных выработок на параметры сдвижения земной поверхности // Разработка месторождений полезных ископаемых / Сб. тр. – Киев: Техника, 1986. – Вып. 73. – С. 28-32.
129. Черняев В.И. Аналитический способ определения исходных параметров процесса сдвижения и деформации толщи горных пород и земной поверхности // Разработка месторождений полезных ископаемых / Сб. тр. – Киев: Техника, 1975. – Вып. 40. – С. 51-57.
130. Четверик М.С., Озеров И.Ф. Геометрическая модель сдвижения геологической толщи и земной поверхности при подземной выемке угля // Сборник научных трудов НГА Украины. – 2000. – № 9, Том 2. – С. 3-7.
131. Шалагинов Н.Ф. К вопросу о границах области сдвижения в слабосвязных горных и грунтовых массивах / Кировский политехн. ин-т. – Киров, 1981. – 8 с. – Деп в ВИНТИ, № 3535-81.

132. Шашенко А.Н. Механика горных пород. – Днепропетровск, НГА Украины, 2002.– 302 с.
133. Шушков М.А., Водянов В.Ф. Определение размеров зон опорного давления при разработке пологих пластов Донбасса // Разработка месторождений полезных ископаемых. – Киев: Техника, 1976. – Вып. 45. – С. 21-24.
134. Drzezla B. A geometrical model of kinematics of subsidence trough // Proceedings IX Congress ISM, Praha 18.4-22.4. 1994. – С. 441-447.
135. Asker, K., Fouad, M. T., Bahr, M. & El-Attar, A. Numerical analysis of reducing tunneling effect on viaduct piles foundation by jet grouted wall. *Min. Miner. Depos.* 15, 75–86 (2021).
136. Bazaluk, O. et al. Innovative activities in the sphere of mining process management. *Front. Environ. Sci.* 10, 878977 (2022).
137. Bhattacharya, M., Rafiq, S. & Bhattacharya, S. The role of technology on the dynamics of coal consumption–economic growth: New evidence from China. *Appl. Energy* 154, 686–695 (2015).
138. Butchibabu, B., Khan, P. K. & Jha, P. C. Geophysical investigations for stability and safety mitigation of regional crude-oil pipeline near abandoned coal mines. *J. Geophys. Eng.* 18, 145–162 (2021).
139. Gao, M. et al. Fractal evolution and connectivity characteristics of mining-induced crack networks in coal masses at different depths. *Geomech. Geophys. Geo-Energy Geo-Resour.* 7, 1–15 (2021).
140. Guo, W., Guo, M., Tan, Y., Bai, E. & Zhao, G. Sustainable development of resources and the environment: Mining-induced eco-geological environmental damage and mitigation measures—A Case study in the Henan Coal Mining Area, China. *Sustainability* 11, 4366 (2019).
141. Haidai, O. et al. Mine field preparation and coal mining in western Donbas: Energy security of Ukraine—a case study. *Energies* 15, 4653 (2022).

142. Hassan, D. Protecting buried pipelines using different shapes of geofam blocks. *Min. Miner. Depos.* 15, 54–62 (2021).
143. He Guoqing. The movement and deformation calculation of undermined anisotropic rock massif // Predicting of rock mass and earth surface movement due to underground mining / Proceedings VIIth International congress of mine surveying. – Leningrad, 1988. – C. 51- 60.
144. He, R., Zhang, J., Liu, Y., Song, D. & Ren, F. Determination of the ultimate underground mining depth considering the effect of granular rock and the range of surface caving. *Math. Probl. Eng.* 2021, 5576786 (2021).
145. He, R., Zhang, J., Liu, Y., Song, D. & Ren, F. Determination of the ultimate underground mining depth considering the effect of granular rock and the range of surface caving. *Math. Probl. Eng.* 2021, 5576786 (2021).
146. Huyang, D. & Anetov, B. T. Observations of the deformation of surface structures during the construction of the subway using gnss. *Eng. J. Satbayev Univ.* 143, 30–35 (2021).
147. Jachim, P. & Kalisz, K. Failures of gas network in mining areas. *Gór. Śr.* 4, 95–105 (2010).
148. Janos, D. & Kuras, P. Evaluation of low-cost GNSS receiver under demanding conditions in RTK network mode. *Sensors* 21, 5552 (2021).
149. Jiskani, I. M. et al. Distinctive model of mine safety for sustainable mining in Pakistan. *Min. Metall. Explor.* 37, 1023–1037 (2020).
150. Kalisz, P. & Zięba, M. Impact of mining exploitation on pipelines. *Acta Montan. Slovaca* 19, 111–117 (2014).
151. Kalisz, P. Impact of mining subsidence on natural gas pipeline failures. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 471, 042024 (2019).
152. Karlilar, S. & Emir, F. Exploring the role of coal consumption, solar, and wind power generation on ecological footprint: Evidence from India using Fourier ADL cointegration test. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 30, 24077–24087 (2023).

153. Kinematical analysis of vertical movements above working pits. Bartha G., Banyai I. "Acta geod., geophys. et montanist. hung." 1984. – №3-4.– C. 189-196.
154. Klaus Eichholz. Dynamische oberwachung von bergbaubeeinflubten grobojekten / Methods of measuring the rock mass, earth surface and undermined structures movement / Proceedings VIIth International congress of mine surveying. – Leningrad, 1988. – C. 62-71.
155. Kratzch H. Bergschadenkunde. Berlin–Heidelberg–New York, Springer.– Verlag. 1974.
156. Kuchin, O. S., Chemakina, M. V. & Balafin, I. E. Displacement of undermining rock mass above the moving longwall. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Univ. 1, 55–60 (2017).
157. Kwiatka J. Ochrona obiektow budowlanych na terenach gornicznych/ Wydawnictwo glownego instytutu gornictwa.– Katowice, 1998.– 726 c.
158. Lewinska, P., Dyczko, A. & Matula, R. Integration of thermal digital 3D model and a MASW (multichannel analysis of surface wave) as a means of improving monitoring of spoil tip stability. Balt. Geod. Congr. 232–236, 8071478 (2017).
159. Li, G. et al. Innovation for sustainable mining: Integrated planning of underground coal mining and mine reclamation. J. Clean. Prod. 351, 131522 (2022).
160. Lu, W., Hu, H. & Qi, G. Effect of pipe diameter and inlet parameters on liquid CO₂ flow in transportation by pipeline with large height difference. Processes 7, 756 (2019).
161. Matous Jifi. Kinematische theorie der dynamischen senkungsmulde// IX Congress ISM, Praha, 1994. C. 433-440.
162. Mohsin, M., Zhu, Q., Naseem, S., Sarfraz, M. & Ivascu, L. Mining industry impact on environmental sustainability, economic growth, social interaction, and public health: An application of semi-quantitative mathematical approach.

- Processes 9, 972 (2021).
163. Nielining matematyczny model osiadania powierzchni w czasie wskutek prowadzonej eksploatacji gorniczej. Bialek Jan. "Zesz. nauk. PSI.: Gorn." – 1985. – №138. – C. 177-186.
 164. O wpływie predkosci podziemnej eksploatacji gorniczej na objekty budowlane / Kwiatek Jerzy // Prz. gor. – 1999. – 55. № 7, 8. – C. 1-8, I, III, V, VII.
 165. Odpornosc na uszkodzenia budinkow na terenach gornicznych a pedkosc eksploatacji gorniczej / Muszynski Lucjan // Prz. gor. – 1999. – 55. № 10. – C. 3-7, I, III, V, VII.
 166. Pactwa, K., Woźniak, J. & Dudek, M. Sustainable social and environmental evaluation of post-industrial facilities in a closed loop perspective in coal-mining areas in Poland. Sustainability 13, 167 (2021).
 167. Peng, S. S. & Luo, Y. Determination of stress field in buried thin pipelines resulting from ground subsidence due to longwall mining. Min. Sci. Technol. 6, 205–216 (1988).
 168. Pielok J., Piwowarski W. Kinematik des deformationsvorgangs einer eisenbahnstrecke infolge der einwirkungen vom brachbau eines kohlenflozes // Proceedings IX Congress ISM, Praha 18.4-22.4. 1994. – C. 330-341.
 169. Relationship between the time of appearance of effects at the ground surface and the horizontal distance of the investigated point from the exploitation edge. Lanusz Waclaw. "Pr. komis gorn.-geod. PAN. Krakowie. Geod." 1985. – №31. – C. 107-179.
 170. Sauer A. Die einflusse von durchbau ungsgrad. Abbaukonzentration und abbaugeschwindigkeit aut die vorausberechnung von bodenbewegungen. Gluckauf.– Forschungshefte.– 1975.– №1.- C. 16-26.
 171. Shults, R. et al. Analysis of the displacements of pipeline overpasses based on geodetic monitoring results. Geod. Geodyn. 13, 50–71 (2022).
 172. Smoliński, A. et al. Research into impact of leaving waste rocks in the mined-

- out space on the geomechanical state of the rock mass surrounding the longwall face. *Energies* 15, 9522 (2022).
173. Studie über Anwendbarkeit eines polnischen Verfahrens zur Berechnung zeitlicher Bodensenkungen im Ruhrbergbau. Kratzsch Helmut. "Markscheidenwesen". – 1986.– №2.– С. 219-226.
 174. Subsidence and Time. Aughenbaugh N.B., Elifrits C.D. "Mining Eng." (USA).– 1986.– №8.– С. 824-836.
 175. Takhanov, D., Muratuly, B., Rashid, Z. & Kydrashov, A. Geomechanics substantiation of pillars development parameters in case of combined mining the contiguous steep ore bodies. *Min. Miner. Depos.* 15, 50–58 (2021).
 176. Time-space displacements processes as stochastic Ito's diffusion. Brrakala Wlodzimierz. "Arch. gorn." – 1984.– №4.– С. 509-531.
 177. Turumbetov, T. Integrated monitoring for the rock mass state during large-scale subsoil development. *Front. Environ. Sci.* 10, 852591 (2022).
 178. Vu, T. T. & Do, S. A. Determination of the rock mass displacement zone by numerical modeling method when exploiting the longwall at the Nui Beo Coal Mine, Vietnam. *Min. Miner. Depos.* 17, 59–66 (2023).
 179. Wang, X. & Shuai, J. Stress and strain analysis of buried pipeline subject to mine subsidence. In *International Conference on Pipelines and Trenchless Technology* (2009).
 180. Wang, X., Shuai, J., Ye, Y. & Zuo, S. Investigating the effects of mining subsidence on buried pipeline using finite element modeling. In *International Pipeline Conference*, 3 (2008). <https://doi.org/10.1115/ipc2008-64250>.
 181. Wang, Z. H. et al. Surface subsidence and its reclamation of a coal mine locating at the high groundwater table, China. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 20, 1–20 (2023).
 182. Wójcikowski, M. & Machowicz, W. Protection of gas pipelines in the areas affected by impact of rock mass stresses come from underground mining

- extraction. *Gór. Geoinżynieria* 32, 83–84 (2008).
183. Xing, H. & Han, Z. Caving-induced fault reactivation behaviour and its effects on mining safety with a multiple seam context. *Acta Geotech.* 15, 3461–3481 (2020).
 184. Yang Shuo, Bei Xinfu. Curvature of subsided ground surface // Predicting of rock mass and earth surface movement due to underground mining / Proceedings VIIth International congress of mine surveying. – Leningrad, 1988. – C. 17- 25.
 185. Yang, D. et al. Slow surface subsidence and its impact on shallow loess landslides in a coal mining area. *Catena* 209, 105830 (2022).
 186. Jerebko L. N., Dangulova G. K., Pivovarova L. M. Formirovaniye svoda obrushenyi v nalegayushem massive predstavlenim sloyami razlichnoi moshnosti // Nauchno-technicheskoe obespechenie gornogo proizvodstva. Trudi IGD im. D. A. Kunaeva. – Almaty, 2008. – T.75. – S. 18-21.
 187. Brui H. The relationship between lowering the Earth's surface and bearing pressure above the advancing longwall face / H. Brui, O. Kuchin, O. Yankin, H. Ishutina / *JGD.* 2023; Volume 1(34)2023, Number 1(34): 28-36

ДОДАТОК А

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ
(особистий внесок здобувача наведено після бібліографічних даних)

*Статті у журналах, що індексуються наукометричними базами даних
Scopus та/або Web of Science Core Collection*

1. **Balafin I.**, Nazarenko V., Brui H. & Kuchin O. Investigation of reused preparatory workings deformations of as a result of cleaning operations // Mongolian Geoscientist, 2025. – №30(60). – S1–9. <https://doi.org/10.5564/mgs.v30i60.3592>. *Здобувачем виконані дослідження щодо впливу повторного використання підготовчих виробок на процес зрушення та стійкість гірських порід у Західному Донбасі.*
2. **Balafin I.**, Kuchin O., Nazarenko V. & Bruy H. Regularities of deformation of preparatory workings for reuse in weak rocks of the Western Donbas // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2025. [doi:10.1088/1755-1315/1491/1/012063](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1491/1/012063). *Здобувачем проведено аналіз літератури і наукових публікацій, проаналізовані закономірності деформування краєвої частини ведення очисних робіт.*
3. **Balafin I.**, Kuchin O., Nazarenko V. & Bruy H. Displacement Earth's surface modeling with GIS technologies use in the mining of mineral deposits // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2025. DOI 10.1088/1755-1315/1481/1/01200. *Здобувачем виконаний аналіз сучасних можливостей застосування ГІС-технологій для відображення поверхні мутьди зрушення внаслідок впливу гірничих робіт.*
4. **Balafin I.E.**, Kuchin O.S., Chemakina M.V. Displacement of undermining rock mass above the moving longwall // Scientific Bulletin of National Mining University, 2017. – № 1. – с55-60. *Здобувачем здійснено проектування*

спостережної станції, виконання інструментальних спостережень їх обробку і аналіз.

Статті в наукових фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України

1. Балафін І.Є., Бруй Г.В. Зрушення земної поверхні і гірського масиву в плоскому дні мульди зрушення // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. – 2008. – № 77. – С.122-129. *Здобувачем проведено аналіз літератури і наукових публікацій, визначення закономірностей зрушення земної поверхні в плоскому дні мульди, які не відповідають положенням дійчих нормативних документів.*

2. Балафін І.Є., Назаренко В.А., Кучин А.С. Закономерности изменения максимальных оседаний и наклонов земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения // Наукові праці УкрНДМІ. – 2009. – №5. ч.1. – С.267-275. *Здобувачем проаналізований характер зростання нахилів земної поверхні з боку розрізної виробки у часі.*

3. Балафін І.Є. Развитие вертикальных деформаций и горизонтальных сдвижений над движущимся очистным забоем // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ. – 2009. – № 8. – С.7-10.

4. Балафін І.Є. Анализ угловых параметров сдвижения земной поверхности на шахтах Западного Донбасса / И.Е. Балафін // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 5. – С 18-20.

5. Балафін І.Є., Назаренко В.О. Об унитарном характере граничных углов в условиях Западного Донбасса // Вісник Криворізького технічного університету. – 2011. – Вип. 28. – С.27-29. *Здобувачем для умов Західного Донбасу висунена та обґрунтована гіпотеза стосовно уніфікації куткових параметрів зрушення без розподілу в наносних та корінних породах.*

6. Балафін Є.І., Кучин О.С. Модель зрушення земної поверхні в умовах очисного вибою, що рухається / О.С. Кучин, Є.І. Балафін // Вісник ЖДТУ. – 2016. – №3 (78). – С. 119-12. *Здобувачем проведено аналіз літератури і наукових публікацій, сформовані припущення щодо можливого впливу швидкості просування очисного вибою на процес зрушення земної поверхні.*

Тези доповідей у матеріалах всеукраїнських та міжнародних конференцій

1. Балафін І.Є., Кучин О.С. (11.07.2025). Про унітарний характер граничних кутів в умовах Західного Донбасу. Матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «*Transcending boundaries: unraveling the dynamics of cutting-edge research and its transformative impact on the global sphere*». (с. 75-76). Дніпро, Україна. ISBN 978-617-8293-51-2.

2. Nazarenko V., Brui H., Kuchin O., Balafin I. Investigation of Reused Preparatory Workings Deformations of as a Result of Cleaning Operations. Biannual international conference on geology and mining GEOMINE 2024, Mongolian University of Science and Technology (Mongolia), 08-10 OCTOBER, 2024.

<https://geomine.must.edu.mn/page/25>

3. Кучин О.С., Назаренко В.О., Бруй Г.В., Балафін І.Є. Моделювання поверхні зрушення за допомогою ГІС технологій при розробці родовищ корисних копалин. Друга міжнародна науково-технічна конференція «Виклики забезпечення мінеральною сировиною України в умовах повоєнної відбудови – 2024» 09-10 травня, 2024. НТУ ДП, Дніпро, Україна.

<https://vgr.nmu.org.ua/ua/Naukova%20dialnist/CEUMR/CEUMR-2024.php>

4. Назаренко В.О., Бруй Г.В., Кучин О.С., Балафін І.Є. Закономірності деформації підготовчих виробок для повторного використання у слабких породах Західного Донбасу. VI Міжнародна конференція «Нариси гірничої науки та практики» 6-8 листопада 2024. Інститут геотехнічної механіки імені

М.С. Полякова НАН України, Дніпро, Україна.

<https://www.rmget.com/index.php/keynote-lectures.html>

5. Балафін І.Е. О значеннях граничних углов в Западном Донбассе. Наукова Весна – 2011: Матеріали II науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених. – Д.: ДВНЗ НГУ. – 2011. – С.129-130.

6. Балафін І.Є., Назаренко В.О. Исследование граничных углов на шахтах Западного Донбасса // Матеріали міжнар. конф. «Форум гірників - 2010», Шляхи розвитку маркшейдерсько-геодезичних робіт. – Д.: НГУ. – 2010. – С.263-267.

ДОДАТОК Б

Таблиця Б-1 – Зведена таблиця випробування фізико-механічних властивостей гірських порід Західного Донбасу

Глибина H , м	Волога W , %	Пористість P , %	Межа міцності на стиск $\sigma_{сж}$, кг/см ²	Межа міцності на розтягування σ_p , кг/см ²
0 – 50	Глина			
50–100	Обводнений пісок			
100–150	Кремнієви вапняк			
	≈30	<6	20	
до 200	Пісок обводнений			
	8,8	26,4	22	
Піщаник				
200–250	3,0	19,0	210	33
250–300	3,5	13,0	320	40
Алевроліт				
до 200	3,0	16,0	140	33
200–250	4,0	16,0	192	36
250–300	3,3	13,0	217	32
Аргіліт				
до 200	8,9	27,0	65	38
200–250	5,0	17,4	178	42
250–300	3,0	7,5	248	36
Піщаник				
250–300	2,7	13,0	400	70
300–350	2,3	10,0	360	41
Алевроліт				
250–300	3,4	10,6	230	42
300–350	2,6	10,0	290	52
350–400	2,3	7,4	250	32
Аргіліт				
250–300	3,0	12,0	210	33

300–350	3,0	10,0	192	39
350–400	2,6	7,2	180	57
Піщаник				
350–400	1,9	10	534	55
450–500	1,6	12,0	490	37
500–550	2,1	12,6	875	59
Алевроліт				
300–350	1,2	5,2	446	48
350–400	2,0	6,8	305	41
450–500	2,9	12,0	252	45
500–600	2,3	8,6	321	50
Аргіліт				
350–400	2,1	4,8	242	35
400–450	3,0	8,3	209	49

ДОДАТОК В

Таблиця В-1 – Загальна характеристика спостережних станцій,
закладених на шахтах Західного Донбасу

№ станції	Найменування шахти	К-ть проф. лін.	К-ть реперів	К-ть спостерігається.	Глибина підбітки м	Потужність наносів, м	Потужність пласта, м
1	"Першотравнева"	7	321	24	110-170	70-100	0,60-0,80
2	"Тернівська"	3	208	19	130-200	70-90	0,74-0,92
3	"Степова"	9	371	12	100-160	60-70	0,80-0,90
4	"Першотравнева"	2	73	21	210-230	85	0,65-0,80
5	"Першотравнева"	7	121	11	140-190	75-100	0,80
6	"Тернівська"	1	32	3	120-180	70-90	0,70-0,90
7	"Степова"	2	115	17	180-250	70-80	0,88-1,01
8	"Степова"	1	71	16	180-220	70	0,90-1,00
9	"Ювілейна"	2	130	34	170-300	70-80	0,70-0,72
10	"Ювілейна"	2	113	29	100-190	80-90	0,90-1,08
11	"Першотравнева"	2	140	43	143-165	80-90	0,63
12	"Степова"	3	106	34	100-125	60-70	1,00-1,10
13	"Степова"	1	52	43	140-160	50-65	0,90-0,95
14	"Степова"	2	103	40	180-230	90	0,92-1,02
15	"Самарська"	2	130	2	205-275	70	0,80-1,05
16	"Дніпровська"	5	105	6	170-250	110-115	0,70-1,20
17	"Степова"	1	102	47	120-190	55-65	0,60-0,90
19	"Степова"	2	112	15	220-250	70-80	0,95
20	"Степова"	2	125	9	120-180	70-80	0,60-0,70
21	"Степова"	3	45	15	220-250	80	0,90
22	ім. Героїв Космосу	2	205	20	400-480	150-200	0,80

23	"Західно-Донбаська"	2	212	12	450-545	145-200	0,60-0,80
24	ім. Героїв Космосу	3	165	10	270-350	150-200	0,70-1,00
25	ім. Героїв Космосу	2	157	8	380-450	150-200	0,70-1,00
26	"Західно-Донбаська"	4	620	8	415-550	140-200	0,80-1,00
27	ім. Героїв Космосу	1	50	6	200-250	90-95	1,05
29	"Ювілейна"	2	140	4	250-290	80	0,95-1,10
35	Благодатна	4	96	6	300-330	74	1,2

ДОДАТОК Г

Таблиця Г-1 – Вихідні дані для аналізу кутових параметрів

Найменування параметра	Значення параметра													
Спостережна станція	12	10	5	11	7	6	4	14	9	29	29	24	25	
Профільна лінія	3	2	5	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	
Глибина гірничих робіт H на межі очисного виробітку, м	105	154	167	173	192	227	230	230	240	250	290	320	400	
Потужність наносів h , м	50	71	100	76	85	85	85	85	85	80	80	130	170	
Відношення h / H	0.48	0.46	0.60	0.44	0.44	0.37	0.37	0.37	0.35	0.32	0.28	0.41	0.43	
Ставлення $h / (H-h)$	0.90	0.85	1.49	0.78	0.79	0.59	0.58	0.58	0.54	0.47	0.38	0.68	0.74	
Експериментально встановлені граничні кути:	Над виїмковими штреками													
ω_{0i} за критерієм $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$	54	55	53	57	62	64	64	63	67	69	68	72	74	
$\omega_{0\varepsilon}$ за критерієм $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$	51	52	52	53	56	57	55	58	58	59	61	60	62	
ω_{0cp} - середній	53	54	52	55	61	59	60	61	64	66	65	66	68	
Експериментально встановлені кути зрушення:	Над виїмковими штреками													
ω_i за критерієм $i = 4 \cdot 10^{-3}$	70	72	72	73	74	76	78	79	81	79	82	84	86	
ω_ε за критерієм $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$	64	68	67	69	72	75	70	73	75	72	75	76	78	
ω_{cp} – середній	67	70	69.5	71	73	75.5	74	76	78	75.5	78.5	80	82	
Експериментально встановлені кути повних зрушень	Над виїмковими штреками													
ψ	46		52	50	51	56	55		56	58	57	61		

Продовження таблиці Г-1

Найменування параметра	Значення параметра																	
Спостережна станція	12	13	10	11	8	27	14	4	4	9	24	22	23	3	5	9	16	14
Профільна лінія	1	1	1	1	1	1	3	2	2	1	1	1	1	9	1	1	1	1
Глибина гірничих робіт H на межі очисного виробітку, м	115	125	160	161	200	202	220	230	230	260	290	475	540	103	167	170	180	205
Потужність наносів h , м	50	50	65	70	75	90	85	85	85	85	100	170	180	64	100	80	112	85
Відношення h / H	0.43	0.40	0.41	0.43	0.38	0.45	0.34	0.37	0.37	0.33	0.34	0.36	0.33	0.62	0.60	0.47	0.62	0.41
Відношення $h / (H-h)$	0.77	0.667	0.684	0.77	0.6	0.8	0.63	0.586	0.586	0.486	0.526	0.56	0.5	1.641	1.493	0.889	1.647	0.708
Експериментально встановлені граничні кути:	Над розрізною піччю												Над лінією зупинки очисного вибою					
ω_{0i} за критерієм $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$	49	51	52	55	58	60	60	61	62	61	63	67	69	50	57	60	64	68
$\omega_{0\varepsilon}$ за критерієм $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$	45	49	50	52	52	53	54	54	52	53	59	64	63	48	55	60	63	67
ω_{0cp} - середній	47	50	51	54	55	57	57	58	57	57	61	64	66	49	56	60	64	68
Експериментально встановлені кути повних зрушень	Над розрізною піччю												Над лінією зупинки очисного вибою					
ψ	43	45	48	50	53	54	52	51		53	56	59	62	40	44	46	46	50
Експериментально встановлені кути зрушення:	Над розрізною піччю												Над лінією зупинки очисного вибою					
ω_i за критерієм $i = 4 \cdot 10^{-3}$	73	66	73	77	82	87		87	87	86	90	93	93					
ω_ε за критерієм $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-3}$	58	64	63	66	66	69	71	68	72	70	73	76	77		69			
ω_{cp} - середній	62	65	65.5	69	69.5	72	74	69	73	72.5	75.5	79	81					

Результати впровадження результатів досліджень



№ _____
На № _____ від _____

ПрАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ»
вул. Соборна, 76, м. Павлоград,
Дніпропетровська обл.
51400, Україна
тел.: +38 056 326 85 56
факс: +38 056 326 76 16

ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційної роботи
здобувача доктора філософії кафедри геодезії НТУ «Дніпровська політехніка»
Балафіна Ігоря Євгенійовича

Дана довідка підтверджує, що у проєктній та практичній діяльності щодо створення проєктів підробки об'єктів земної поверхні шахт ПрАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ», використані наступні наукові та практичні розробки дисертаційної роботи Балафіна І.Є. на тему: «**Обґрунтування унітарності кутових параметрів зрушення гірничих порід при наявності у підробленій товщі потужних наносів**»:

1. Удосконалена методика визначення кутових параметрів процесу зрушення земної поверхні для гірничо-геологічних умов гірничо-видобувного регіону Західного Донбасу.
2. Запропоновані нові способи визначення границь зони впливу очисних робіт, які визначають кількість або ділянки об'єктів земної поверхні, що підлягають визначенню умов їх безпечної підробки.
3. Удосконалена методика визначення довжин напівмульд, що напряму впливає на точність визначення очікуваних зрушень та деформацій земної поверхні.
4. Визначені закономірності між кутовими параметрами процесу зрушення та глибиною розробки вугільних пластів у Західному Донбасі.

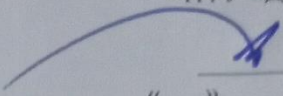
Використання наукових-технічних розробок Балафіна І.Є. дозволило підвищити надійність виконання проєктних робіт з визначення умов безпечного виймання запасів вугілля під об'єктами земної поверхні, що підробляються.

Менеджер Департаменту
з виробництва вугілля
ТОВ «ДТЕК ЕНЕРГО»

Михайло ГОРДІЄНКО



ЗАТВЕРДЖУЮ:
Перший проректор
НТУ «Дніпровська політехніка»


«__» _____ 2026 р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертації

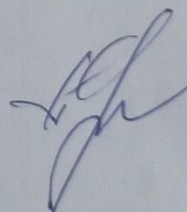
Балафіна Ігоря Євгенійович на тему: «Обґрунтування унітарності кутових параметрів зрушення гірничих порід при наявності у підробленій товщі потужних наносів» у навчальному процесі НТУ «Дніпровська політехніка»

Балафіним І.Є. за час навчання у аспірантурі у період 2023-2026 рр. підготовлено дисертаційну роботу на тему «Обґрунтування унітарності кутових параметрів зрушення гірничих порід при наявності у підробленій товщі потужних наносів» у результаті чого розроблено вдосконалену методику визначення кутових параметрів процесу зрушення для умов розробки вугільних пластів в Західному Донбасі.

Розроблена методика дозволяє підвищити надійність визначення границь зон впливу та небезпечного впливу гірничих робіт на земній поверхні та розрахунку очікуваних зрушень і деформацій

Вищезазначену методику впроваджено у курс дисципліни «Маркшейдерія» для підготовки бакалаврів/магістрів за спеціальністю G16 «Гірництво та нафтогазові технології». Результати також використовуються студентами кафедр (гірничої інженерії та освіти, геодезії) при написанні дипломних та науково-дослідних робіт.

Завідувач кафедрою геодезії, доцент



Олександр ЯНКІН