

ЗАГАЛЬНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ МАКСИМАЛЬНИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ ДЕФОРМАЦІЙ  
У ДИНАМІЧНІЙ МУЛЬДІ

*Досліджено розподіл вертикальних зрушень та деформацій земної поверхні у динамічній мульті в умовах Західного Донбасу. Встановлено закономірності їх зміни у головних перерізах мульті.*

**Постановка проблеми.** Вплив підземних розробок вугільних шарів на гірські породи і земну поверхню вивчається фахівцями майже на всіх родовищах. У результаті виявлена фізична сутність процесів, що відбуваються в гірському масиві та на поверхні [1], [2], встановлені загальні закономірності формування області впливу очисних робіт, розроблені різні способи прогнозування деформацій поверхні та їхнього впливу на будівлі й споруди [3]. Але питання зрушення земної поверхні не втратили своєї актуальності. Навпаки, виникають нові проблеми, пов'язані зі зміною технології й умов ведення гірничих робіт, залученням у розробку запасів під забудованими територіями і на ділянках шарів із складною геологією.

На сучасному етапі розвитку науки про зрушення земної поверхні увага вчених і практиків зосереджена на питаннях розвитку процесу зрушення в часі, тому що всякий об'єкт, будь-яка точка земної поверхні, потрапляючи до зони впливу очисних робіт, піддається, насамперед, впливу зрушень, що змінюються, і деформацій, що викликані проходженням очисного вибою. При цьому методологія і принципи вивчення динаміки процесу зрушення земної поверхні залишилися такими ж, як і при вивченні зрушення, що закінчилося – "від часткового до загального" і отримані результати не віддзеркалюють достатньою мірою закономірності зрушення над очисним вибоєм, що рухається, дозволяють прогнозувати деформації земної поверхні тільки за напрямком руху очисного вибою [4].

**Метою виконаних нами досліджень** є встановлення закономірностей зміни вертикальних деформацій земної поверхні, що здійснюють вплив на підроблюванні будівлі і споруди, у залежності від умов виїмки вугільних шарів, а саме – від розмірів очисного виробки і глибини розробки.

**Основна частина.** Геометрично мульті зрушення являє собою складну топографічну поверхню. Як усяка геометрична поверхня вона в кожній точці характеризується відміткою (величиною осідання) і значеннями нахилів і кривизни по двох взаємно перпендикулярних перетинах, що проходять через нормаль до поверхні в розглянутій точці. Відповідно до загальноприйнятих положень, у мульті зрушення виділяються два головні перетини: по простяганню шару і навхрест простягання або в напрямку просування очисного вибою і навхрест просування [5]. Обидва перетини проходять повз точку максимального динамічного осідання земної поверхні (т.  $O_2$  на рис. 1). Для загальної оцінки розподілу вертикальних зрушень і деформацій у динамічній мульті при повній підробці достатньо розглянути, як змінюються їхні величини в головних перетинах.

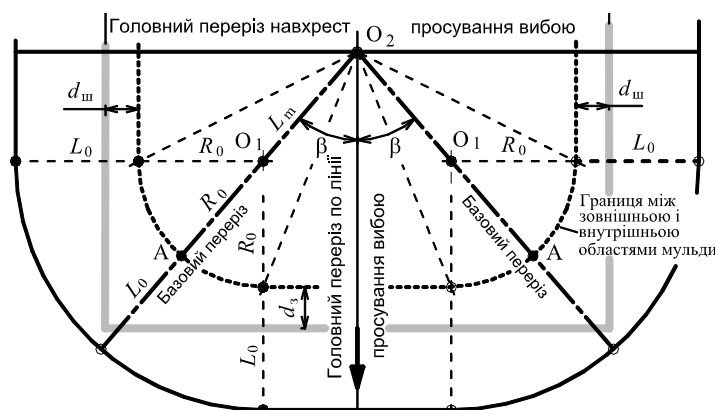


Рис. 1. Розташування базового і головних перетинів у динамічній мульті

Повна підробка земної поверхні над очисним вибоєм, що рухається, настає за умови, якщо кут  $\beta$  між базовим перетином і напрямком руху очисного вибою більше  $0^\circ$  (граничне значення кута  $\beta$  складає  $45^\circ$ ). Зміна  $\beta$  викликає зміну конфігурації і довжин профілів у головних перетинах динамічної мульті. При значенні кута  $\beta = 45^\circ$  профілі динамічної мульті в обох головних перетинах будуть однакові. Довжини ділянок профілів, що належать до внутрішньої області мульті в цьому випадку дорівнюють  $(R_0 + 0,707L_m) = 0,78H$ , що на 10 % менше, ніж довжина аналогічної ділянки профілю базового перетину.

Відповідно до цього зміниться розподіл вертикальних зрушень і деформацій у головних перетинах (відносно профілю базового перетину), а значення максимальних нахилів і кривизни поверхні на внутрішніх ділянках головних перетинів складуть 110 % від значень у базовому перетині. Типові криві розподілу вертикальних зрушень і деформацій  $S(z)_{ГП}$ ,  $S'(z)_{ГП}$ ,  $S''(z)_{ГП}$  у головних перетинах динамічної мульди при  $\beta = 45^\circ$  наведені на рис. 2. Тут же для порівняння наведені типові криві  $S(z)_{БП}$ ,  $S'(z)_{БП}$ ,  $S''(z)_{БП}$  (штрихові лінії), що характеризують розподіл зрушень і деформацій у базовому перетині мульди.

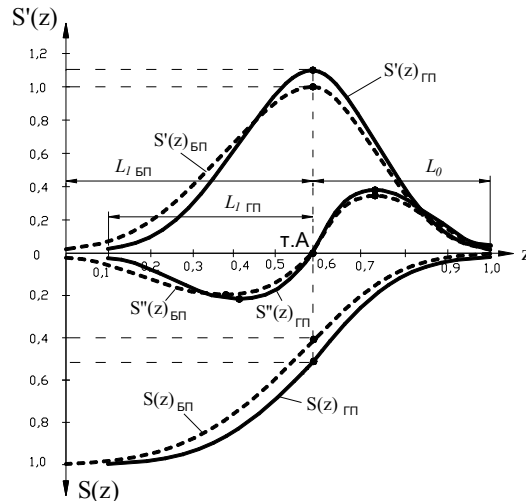


Рис. 2. Розподіл вертикальних зрушень і деформацій у головних перетинах динамічної мульди при  $\beta = 45^\circ$

При зменшенні кута  $\beta$  від  $45^\circ$  до  $0^\circ$  відбувається зміна профілів мульди в головних перетинах: за напрямком руху очисного вибою форма і розміри профілю прагнуть до значень базового перетину і при  $\beta = 0^\circ$  обидва названих профілі цілком збігаються. У головному перетині вк্রেст просування вибою зменшення кута  $\beta$  призводить до зменшення довжини профілю мульди і зміни розподілу зрушень і деформацій. Але при цьому положення точки перегину кривої осідання щодо границі очисної виробки залишається майже незмінним.

На рис. 3 показані типові криві  $S(z)$ ,  $S'(z)$  і  $S''(z)$  для головного перетину навхрест просування вибою при кутах  $\beta$ , рівних 30, 20, 10 і  $0^\circ$ .

Як видно з графіків на рис. 2 і 3, величини осідань, нахилів і кривизни поверхні динамічної мульди в головних перетинах більші, ніж у базовому перетині. З цього можна зробити висновок, що для базового перетину характерні найменші вертикальні зрушення і деформації земної поверхні.

Найбільших значень функції  $S(z)$ ,  $S'(z)$  і  $S''(z)$  досягають у головному перетині навхрест просування очисного вибою, і при  $\beta = 0^\circ$  максимальний нахил поверхні мульди в цьому перетині в 1,43 рази більше максимального нахилу в базовому перетині. У стільки ж разів відрізняється і величина позитивної максимальної кривизни. Негативна кривизна в головному перетині в 2,1 рази більше кривизни базового перетину.

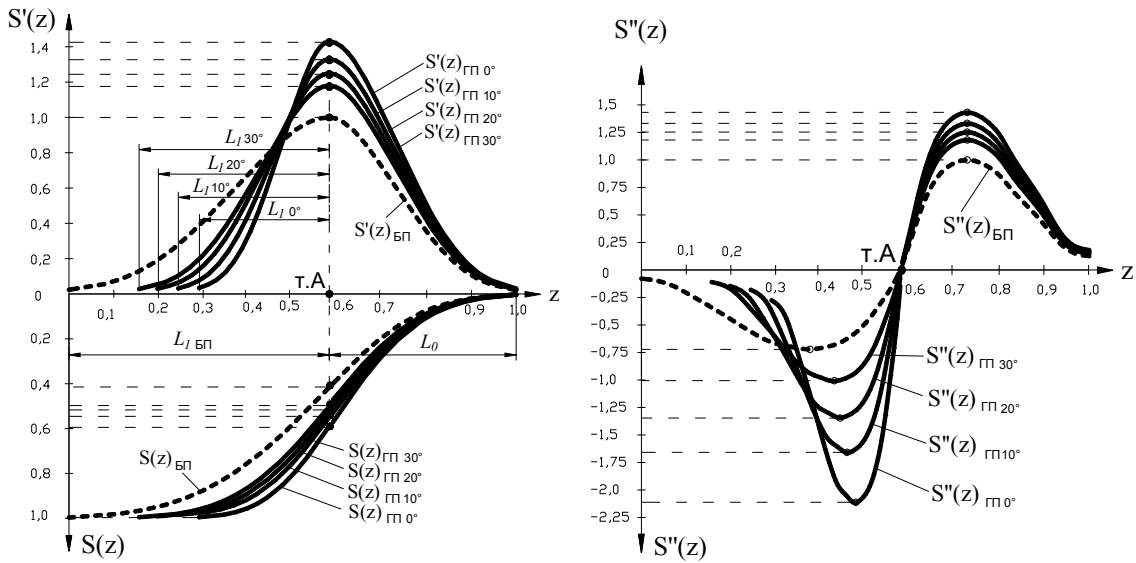


Рис. 3. Функції розподілу вертикальних зрушень і деформацій у головному перетині навхрест просування

Виконані нами дослідження вказують, що розподіл вертикальних деформацій у головних перетинах динамічної мульди, а отже і в мульді в цілому, залежить від відношення величини  $(D - d_{\text{ш}})$  до глибини розробки  $H$ . Така закономірність відповідає загальноприйнятим уявам про вплив очисних гірничих робіт на земну поверхню [1], [2]. У діючій методиці прогнозування зрушень і деформацій земної поверхні [3] величину  $(D - d_{\text{ш}})$  прийнято позначати  $D_p$ . Якщо скористатися цим позначенням, то максимальний нахил поверхні динамічної мульди в головному перетині за напрямком руху очисного вибою (позначимо його як  $i_{m \text{ ГП1}}$ ) визначиться виразом:

$$i_{m \text{ ГП1}} = i_0 \cdot n_1 \cdot n_2, \tag{1}$$

де  $i_0$  – максимальний нахил у базовому перетині при повній підробці [6];

$$i_0 = 1,11 \frac{m}{H};$$

$$n_1 = \frac{\sqrt{2}}{1 + 0,45 \frac{D_p}{H} \sqrt{1,84 \frac{H}{D_p} - 1}};$$

$$n_2 = \frac{2}{1 + 0,92 \frac{H}{D_p}}.$$

У виразі (1) повинні дотримуватися такі умови:

– значення коефіцієнта  $n_1$  змінюються в діапазоні  $1 \leq n_1 \leq 1,1$ , що відповідає значенням  $0,92 \leq (D_p / H) \leq 1,57$ ;

– коефіцієнт  $n_2$  приймає значення  $n_2 < 1$  при  $(D_p / H) < 0,92$ .

У головному перетині навхрест просування очисного вибою максимальний нахил  $i_{m \text{ ГП2}}$  поверхні мульди знаходиться за формулою:

$$i_{m \text{ ГП2}} = i_0 \cdot n_3 \cdot n_4, \tag{2}$$

де  $n_3 = \frac{1}{0,41 + 0,32 \frac{D_p}{H}}$  при  $0,92 \leq (D_p / H) \leq 1,57$  і  $1,1 \leq n_3 \leq 1,42$ ;

$$n_4 = \frac{2}{1 + 0,37 \frac{H}{D_p}} \text{ при } (D_p / H) < 0,92 \text{ і } n_4 < 1,42.$$

Якщо у формулах (1) і (2) ввести загальне позначення  $n$  для коефіцієнтів при  $i_0$ , то наведені залежності приймуть вигляд:

$$i_{m \text{ ГП1}} = i_0 \cdot n ;$$

$$i_{m \text{ ГП2}} = i_0 \cdot n .$$

Значення коефіцієнтів  $n$  знаходяться з графіків на рис. 4. З аналізу графіків випливає, що найменші значення максимальних нахилів спостерігаються в базовому перетині динамічної мульди. Графік максимальних нахилів базового перетину (пунктирна лінія) на ділянці  $BD$  відповідає повній підробці земної поверхні й незмінному значенню максимального нахилу  $i_0$ .

Положення базового перетину в динамічній мульді щодо напрямку руху вибою, що відповідає ділянці  $BD$ , визначається кутом  $0^\circ < \beta < 45^\circ$ . При досягненні значення  $\beta = 0^\circ$  максимальний нахил у базовому перетині зменшується – ділянка графіка зліва від точки  $B$ . Ця ділянка відповідає умові неповної підробки земної поверхні.

Графік максимальних нахилів у головному перетині динамічної мульди за напрямком руху очисного вибою (суцільна лінія) на ділянці справа від точки  $A$  збігається з відповідною ділянкою графіка максимальних нахилів у головному перетині навхрест просування вибою (пунктирна лінія); максимальні нахили постійні, а кут  $\beta = 45^\circ$ . Ця ділянка відповідає утворенню в динамічній мульді плоского дна. На ділянці  $AB$  максимальні нахили зменшуються до значення  $i_0$  і в т.  $B$  графік збігається з кривою максимальних нахилів у базовому перетині.

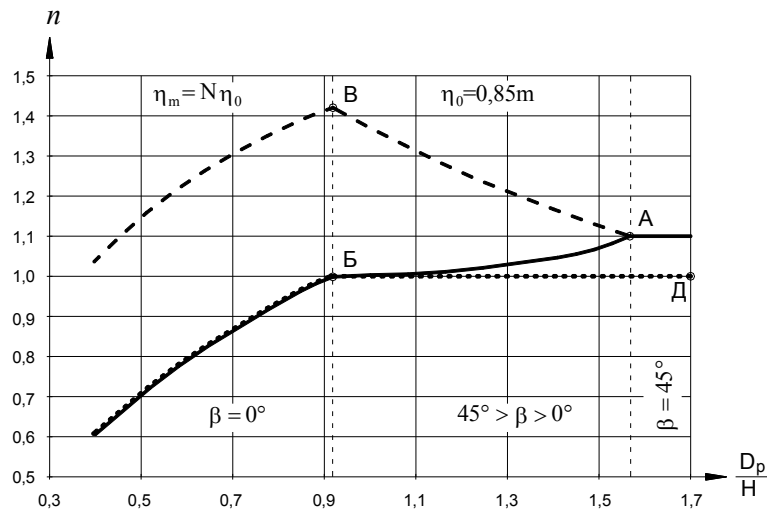


Рис. 4. Графіки залежності коефіцієнтів  $n$  від відношення  $(D_p / H)$ :

- ..... – базовий перетин;
- – головний перетин по напрямку руху вибою;
- - - - - – головний перетин навхрест напрямку руху вибою

Максимальні нахили в головному перетині вкрест просування вибою при зміні  $\beta$  від  $0^\circ$  до  $45^\circ$  (ділянка  $AB$ ) збільшуються до найбільшого значення (т.  $V$ ), що відповідає моменту досягнення куту  $\beta$  значення  $0^\circ$ . Далі настає неповна підробка земної поверхні, і значення максимальних нахилів зменшуються. На ділянках графіків максимальних нахилів у головних перетинах, що відповідають неповній підробці й розташованих на рис. 4 зліва від точок  $B$  і  $V$  спостерігається майже постійна перевага нахилів головного перетину навхрест просування вибою відносно нахилів перетину за напрямком руху вибою. Величина різниці максимальних нахилів цих перетинів дорівнює  $0,44i_0$ .

На рис. 4 вертикальна лінія, що проходить через точки  $B$  і  $V$ , визначає перехід від повної підробки земної поверхні до неповної підробки. Позначимо значення  $(D_p/H) = 0,92$  як  $(D_0/H_0)$ . Значення  $D_p$ ,  $D_0$  і  $H_0$  для різних глибин  $H$  і розмірів очисної виробки  $D$  можуть бути визначені з графіків на рис. 5.

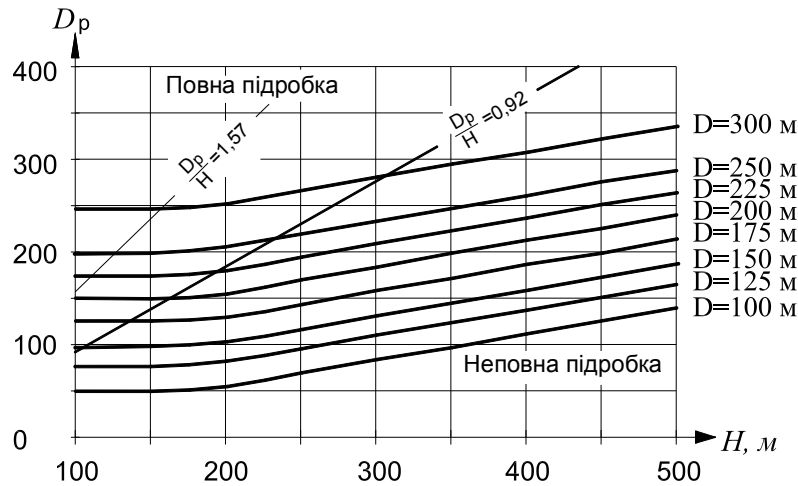


Рис. 5. Графіки значень  $D_p$  і  $H_0$

Аналітичними дослідженнями встановлено, що значення коефіцієнтів  $n$  при повній підробці земної поверхні (відрізки кривих  $AB$  і  $AB$  на рис. 1) описуються ступеневою функцією

- для головного перетину за напрямком руху вибою:

$$n = 0,25 \left( \frac{D_p}{H} - \frac{D_0}{H_0} \right)^{2,41} + 1;$$

- для головного перетину навхрест просування вибою

$$n = \left( \frac{D_p}{H} - 0,25 \frac{D_0}{H_0} \right)^{-0,48} + 0,225.$$

При неповній підробці ділянки графіків, що розташовані на рис. 4 зліва від точок  $B$  і  $B$ , описуються логарифмічною функцією

- для головного перетину за напрямком руху вибою:

$$n = 0,5 \ln \frac{D_p}{H} + \sqrt{\frac{H_0}{D_0}};$$

- для головного перетину навхрест просування вибою

$$n = 0,5 \ln \frac{D_p}{H} + \sqrt{2 \frac{H_0}{D_0}}.$$

З урахуванням значення  $(D_0 / H_0) = 0,92$  наведені вище залежності приймуть вигляд відповідно.

$$n = 0,25 \left( \frac{D_p}{H} - 0,92 \right)^{2,41} + 1;$$

$$n = \left( \frac{D_p}{H} - 0,23 \right)^{-0,48} + 0,225.$$

Наведені залежності однозначно вказують, що вертикальні деформації в динамічній мульді визначаються значеннями і співвідношенням глибини розробки і довжини лави.

**Висновки.** На підставі виконаних аналітичних досліджень і зіставлення їхніх результатів з даними натурних спостережень встановлені загальні закономірності розподілу вертикальних зрушень і деформацій земної поверхні в динамічній мульді в її головних перетинах, отримані залежності й розрахункові формули для максимальних значень зазначених величин. Ці формули віддзеркалюють зміни геометрії поверхні динамічної мульди залежно від умов підробітку. Загальна оцінка встановлених закономірностей указує на досить складну, багатофакторну залежність оцінюваних параметрів процесу зрушення від умов підробки земної поверхні. Визначення цих залежностей підвищує безпеку підробки будівель і споруд на земній поверхні.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. *Авершин С.Г.* Сдвигение горных пород при подземных разработках. – М.: Углетехиздат, 1947. –

245 с.

2. Сдвижение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений / А.Г. Акимов, В.Н. Земисев, Н.Н. Кацнельсон и др. – М.: Недра, 1970. – 224 с.
3. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. Галузевий стандарт. – К.: Мінпаливенерго України, 2004. – 127 с.
4. Временные технические условия по охране сооружений и природных объектов от влияния подземных горных разработок. КД 12.00159226.013–95/ – Донецк: Министерство угольной промышленности Украины, 1995.
5. Назаренко В.А. О влиянии размеров очистной выработки на геометрическое строение поверхности динамической мульды // Геоинформатика, геодезия, маркшейдерия: Сб. докл. международн. научн.-техн. конф. – Донецк: ДонНТУ, 2003. – С. 69–73.
6. Назаренко В.А. Распределение вертикальных сдвижений и деформаций в главных сечениях динамической мульды // Науковий вісник НГУ. – 2004. – № 6. – С. 13–15.

НАЗАРЕНКО Валентин Олексійович – доктор технічних наук, доцент кафедри маркшейдерії Національного гірничого університету.

Наукові інтереси:

– зрушення гірських порід і земної поверхні при розробці вугільних родовищ;

– механіка гірських порід.

Тел. (0562) 34-55-79.

E-mail: [nazar54@yandex.ru](mailto:nazar54@yandex.ru)

Подано 20.03.2005

**Назаренко В.О.** Загальні закономірності зміни максимальних вертикальних деформацій у динамічній мульді

**Назаренко В.А.** Общие закономерности изменения максимальных вертикальных деформаций в динамической мульде

**Nazarenko V.A.** General regularity of the maximal vertical deformations change at a dynamic subsidence trough

УДК 622.1:622.834

**Загальні закономірності зміни максимальних вертикальних деформацій у динамічній мульді / В.О. Назаренко /**

Досліджено розподіл вертикальних зрушень та деформацій земної поверхні у динамічній мульді в умовах Західного Донбасу. Встановлені закономірності їх зміни у головних перерізах мульди.

УДК 622.1:622.834

**Общие закономерности изменения максимальных вертикальных деформаций в динамической мульде / В.А. Назаренко // Вісник ЖДТУ. – 2005. – № / Технічні науки. – С. : ил. 5. – Библиогр.: 7 назв.**

Исследовано распределение вертикальных сдвижений и деформаций земной поверхности в динамической мульде в условиях Западного Донбасса. Установлены закономерности их изменения в главных сечениях мульды.

УДК 622.1:622.834

**General regularity of the maximal vertical deformations change at a dynamic subsidence trough / V.A. Nazarenko // Вісник ЖДТУ. – 2005. – № / Технічні науки. – Р. : ill. 5. – refs.: 7 titles.**

For conditions of Western Donbass the allocation of subsidence and vertical deformations of a surface in dynamic subsidence trough is investigated. The laws of their variation in major sections of subsidence trough are established.