

В.О. Назаренко, д.т.н., проф.
О.С. Кучин, к.т.н., доц.
Національний гірничий університет
Н.В. Йощенко, інж.
ВАТ "Дніпродіпрошахт"

ПРО ЗМІНУ МАКСИМАЛЬНИХ НАХИЛІВ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ У МУЛЬДІ ЗРУШЕННЯ, ЩО ФОРМУЄТЬСЯ

Наведено результати досліджень початкової стадії формування мильди зрушення на шахтах Західного Донбасу. Встановлена залежність максимальних нахилів земної поверхні від розміру очисної виробки під час її відходу від розрізної печі.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її актуальність. Переважна більшість публікацій про зрушення земної поверхні на вугільних шахтах присвячена дослідженням кутових параметрів і величин зрушень та деформацій у головних перерізах мильди за умови процесу зрушення, що закінчився. В узагальненому вигляді результати цих досліджень на вугільних родовищах України наведені у "Правилах підробки..." [1]. Відомі також дослідження процесу зрушення в стадії його розвитку [2, 3], але в силу недостатньої вивченості цих питань і обмеженості умов натурних спостережень за зрушенням земної поверхні, узагальнення і встановлення закономірностей зміни величин зрушень і деформацій у мильді викликає певні складності.

При всьому різноманітті досліджень, що виконувалися практично на всіх вугільних родовищах, однозначного опису величин і положення максимальних деформацій земної поверхні в мильді немає. Це твердження в першу чергу відноситься до умов формування мильди зрушення над очисним вибоєм, що переміщується. Таке положення можна пояснити складністю проведення експериментальних досліджень і різноманітністю умов, у яких їх здійснюють, а також великою кількістю факторів, що при цьому здійснюють вплив.

Аналіз існуючих досліджень і публікацій. Значення максимальних деформацій земної поверхні (нахили, кривизна, розтяги-стиски) є основними характеристиками процесу зрушення земної поверхні над очисними роботами вугільних шахт, а відстані точок з максимальними деформаціями від границі очисної виробки приймаються як вихідні параметри в багатьох відомих методиках розрахунку зрушень і деформацій поверхні [4–6].

Цей факт пояснює значну увагу дослідників до екстремальних значень деформацій у мильді зрушення. Інша важлива особливість розподілу деформацій у мильді зрушення – висока точність визначення розташування точок з максимальними значеннями деформацій. У сукупності значення максимальних деформацій і їх положення дають наочне представлення про розподіл зрушень і деформацій земної поверхні над очисними виробками.

Область формування мильди зрушення охоплює період з моменту початку процесу зрушення земної поверхні до моменту, коли максимальне осідання в мильді досягло межі (максимуму) і крило мильди зрушення з боку виробленого простору перестає змінювати свою геометрію і починає робити плоскопаралельне переміщення разом з вибоєм очисної виробки [7]. З цього моменту розвиток мильди зрушення переходить у стадію синхронного зрушення, що характеризується сталістю форми мильди, її розмірів і значень максимальних деформацій.

Аналіз результатів маркшейдерських інструментальних спостережень за земною поверхнею над очисними гірничими виробками шахт Західного Донбасу показує, що процес зрушення на стадії формування мильди зрушення має закономірності, які виявляються практично у всіх випадках, що спостерігаються. Одна з цих закономірностей виражається в залежності положення точок, що мають максимальне значення нахилу на момент виконання спостережень, від поточного розміру очисної виробки [8].

Мета досліджень. З метою встановлення цієї залежності виконані аналіз і відбір спостережних станцій, на яких проводилися маркшейдерські виміри зрушень земної поверхні в області формування мильди.

Викладення основного матеріалу досліджень. Дослідження здійснювались для таких умов: глибини залягання вугільних пластів, що розроблювались, у районі розрізної печі в аналізованих умовах змінюється від 110 до 250 м, потужність наносів – від 50 до 80 м. Потужність пластів, що виймаються, 0,65–1,0 м; швидкість просування очисного вибою 30–80 м/міс.; коефіцієнт, що характеризує ступінь підроблення земної поверхні (відповідно до діючих Правил [1]), змінюється від 1 до 0,65; керування гірничим тиском – повне обвалення.

Кількість серій інструментальних спостережень на станціях, що прийнята до аналізу, різна і

змінюється від 5 до 10.

Для аналізу максимальних нахилів земної поверхні побудовані графіки нахилів за результатами натурних інструментальних спостережень. Особливість цих графіків полягає в тому, що на той самий графік наносяться криві нахилів інтервалів профільних ліній по всіх наявних спостереженнях з обов'язковим фіксуванням положення розрізної печі і положень очисного вибою на дати спостережень.

На графіках на кожній кривій нахилів (рис. 1) фіксуються три точки, що мають найбільше значення позитивного нахилу: i_{mt} , негативного нахилу i_{-mt} і перехідна точка, у якій змінюється знак нахилу, а сам нахил дорівнює нулю. Значення величин i_{mt} і i_{-mt} також фіксуються.

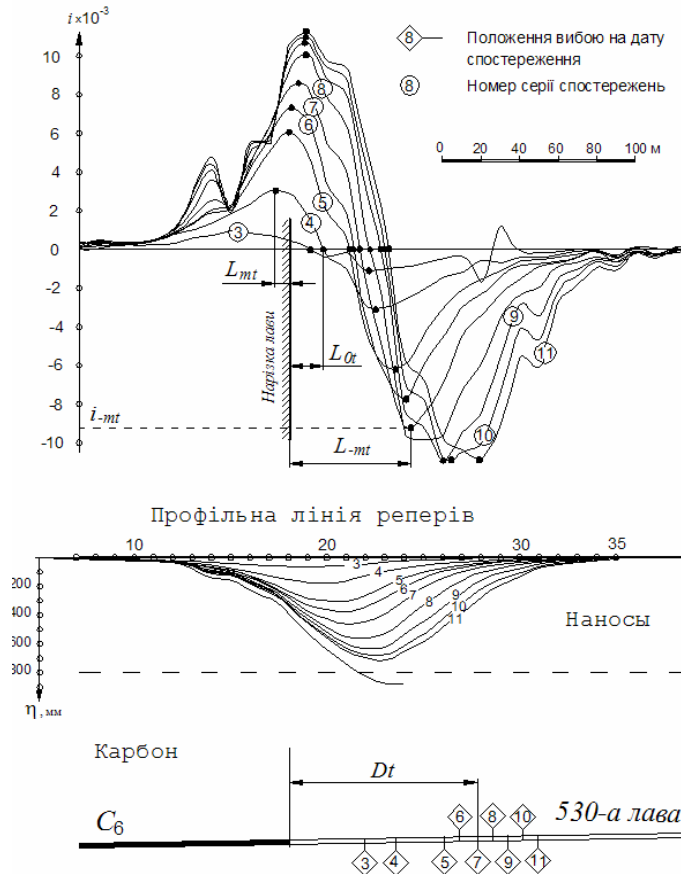


Рис. 1. Графіки нахилів інтервалів і розріз по профільній лінії спостережної станції

Положення вибою на дату спостереження t визначається відстанню D_t від розрізної печі. Крім цього, на розрізі заміряються горизонтальні відстані L_{mt} , L_{-mt} , L_{0t} від вибою до характерних точок кривих нахилів.

Таким чином, для кожної зі спостережних станцій формується база даних, що складається з n -го числа відстаней D_t , L_{mt} , L_{-mt} , L_{0t} і величин i_{mt} , i_{-mt} , де n – кількість аналізованих серій інструментальних спостережень на станції.

Отримані дані по кожному з аналізованих випадків підробки земної поверхні практично неможливо зіставити між собою через суттєві відмінності гірничо-геологічних умов і розміру виробленого простору D_t , який відповідає даті натурального спостереження. Саме ці фактори відзначені нами вище як основні причини, що не дозволили дотепер одержати загальні залежності максимальних деформацій земної поверхні від умов її підробки. Тому нами здійснено приведення лінійних параметрів усіх графіків нахилів земної поверхні і, відповідно, параметрів D_t , L_{mt} , L_{-mt} , L_{0t} до однотипного вигляду. Для цього довжини інтервалів між реперами профільних ліній, величини просування очисних вибоїв, горизонтальні відстані від розрізної печі до точок із максимальними нахилами і вертикальні розміри геологічних розрізів були розділені на відповідну величину глибини відпрацювання вугільного пласта H .

Нахили земної поверхні за даними інструментальних спостережень визначають за формулою:

$$i = \frac{\eta_n - \eta_{n-1}}{l}, \tag{1}$$

де η_n, η_{n-1} – величини осідань відповідно переднього і заднього кінців інтервалу, мм; l – довжина інтервалу між реперами з першого спостереження, мм.

Очевидно, що для приведення графіків нахилів до одиничного виду слід враховувати різницю в максимальних осіданнях η_m земної поверхні над очисними виробками і той факт, що лінійні розміри перерізів по профільних лініях i , відповідно, графіків розділені на величину глибини H .

Відповідно до формули (1) розподіл лінійних параметрів на H призведе до збільшення значень нахилів на трансформованому графіку пропорційно глибині, а однотипний вигляд графіків стосовно максимального осідання поверхні досягається розділенням величин η_n і η_{n-1} на η_m . Таким чином, вираз (1) для перетворених графіків прийме вигляд:

$$i' = \frac{H(\eta_n - \eta_{n-1})}{\eta_m l}. \tag{2}$$

Параметри $D_t, L_{mt}, L_{-mt}, L_{0t}, i'_{mt}, i'_{-mt}$, що отримані в результаті приведення графіків до однотипного вигляду за описаною вище методикою, зведені до табл. 1, а їх розподіли показані на рис. 2 і 3.

Таблиця 1

Приведені значення $D_t, L_{mt}, L_{-mt}, L_{0t}, i'_{mt}, i'_{-mt}$ по спостережних станціях

Станція 10						Станція 9					
1						2					
D_t/H	L_{mt}/H	L_{-mt}/H	L_{0t}/H	$i'_{mt} \times 10^1$	$i'_{-mt} \times 10^1$	D_t/H	L_{mt}/H	L_{-mt}/H	L_{0t}/H	$i'_{mt} \times 10^1$	$i'_{-mt} \times 10^1$
0.3	-0.19	0.27	0.07	1.5	1.9	0.2	-0.17	0.37	0.02	1.5	1.8
0.4	-0.05	0.29	0.12	5.0	5.1	0.3	-0.07	0.32	0.05	2.6	3.2
0.5	0.00	0.37	0.21	10.1	10.3	0.4	-0.10	0.32	0.07	3.8	4.5
0.6	0.01	0.40	0.22	12.2	12.8	0.5	-0.02	0.39	0.18	6.2	7.1
0.7	0.03	0.41	0.23	14.3	15.3	0.5	0.00	0.42	0.20	10.0	10.7
0.7	0.05	0.47	0.27	16.8	16.4	0.6	0.01	0.47	0.22	13.2	14.4
0.8	0.05	0.52	0.31	17.8	18.2	0.7	0.05	0.50	0.25	15.0	16.6
0.8	0.05	0.55	0.32	18.2	18.2	0.7	0.05	0.55	0.27	16.6	17.0
0.9	0.05	0.65	0.33	18.7	18.1	0.8	0.05	0.60	0.30	17.0	18.4
Станція 8						Станція 1					
0.2	-0.22	0.27	0.03	0.6	0.8	0.3	-0.05	0.48	0.20	5.9	5.6
0.3	-0.12	0.38	0.07	1.1	1.6	0.7	0.05	0.66	0.35	17.7	15.0
0.3	-0.02	0.39	0.13	1.4	2.2	0.9	0.06	0.78	0.40	19.0	
0.3	-0.03	0.32	0.18	2.3	3.1	1.0	0.07	0.85	0.47	19.5	
0.4	0.01	0.44	0.19	4.6	5.4	1.3	0.07		0.60	20.3	
0.5	0.01	0.43	0.20	6.8	7.1						
0.5	0.06	0.51	0.29	10.1	10.7						
0.6	0.05	0.57	0.30	14.5	13.5						
0.7	0.06	0.64	0.35	16.8	16.3						
1.0	0.07	0.95	0.47	18.9	19.8						
Станція 12						Станція 13					
1						2					
D_t/H	L_{mt}/H	L_{-mt}/H	L_{0t}/H	$i'_{mt} \times 10^{-1}$	$i'_{-mt} \times 10^{-1}$	D_t/H	L_{mt}/H	L_{-mt}/H	L_{0t}/H	$i'_{mt} \times 10^{-1}$	$i'_{-mt} \times 10^{-1}$
0.2	-0.20	0.22	0.10	1.9	2.9	0.2	-0.12	0.35	0.13	1.7	1.5
0.3	-0.19	0.22	0.10	2.2	3.0	0.4	0.02	0.40	0.18	7.4	8.2
0.4	-0.02	0.23	0.11	5.3	6.1	0.6	0.05	0.47	0.26	14.3	15.1
0.4	-0.01	0.38	0.12	9.8	9.4	0.7	0.07	0.67	0.37	18.3	18.7
0.5	-0.01	0.39	0.15	12.7	13.4	0.9	0.07	0.77	0.40	19.1	19.2
0.6	-0.01	0.40	0.18	15.4	18.4	1.2	0.07	0.93	0.46	19.4	19.7
0.7	0.03	0.42	0.23	17.0	19.2	1.5	0.07	1.37	0.57	19.9	20.0
0.8	0.05	0.57	0.32	18.8	18.8						
0.9	0.06	0.72	0.35	19.6	18.8						

Закінчення таблиці 1

Розподіл L_{mt}/H від D_t/H (рис. 2) вказує, що при $D_t/H < 0,4$ точка максимального позитивного нахилу знаходиться за границями проекції очисної виробки на земну поверхню, а при значеннях D_t/H , близьких до величини 0,8, залежність L_{mt}/H від D_t/H приймає виражений прямолінійний характер, положення точки максимального позитивного нахилу стабілізується ($L_{mt}/H = 0,07$) і залишається незмінним при подальшому збільшенні виробленого простору.

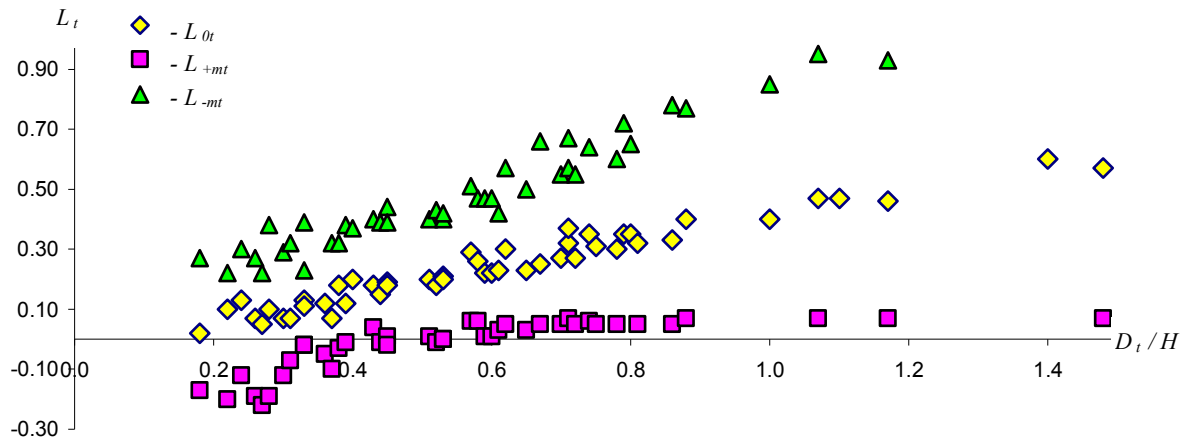


Рис. 2. Розподіл L_{mt}/H , L_{-mt}/H , L_{0t}/H від D_t/H по спостережних станціях

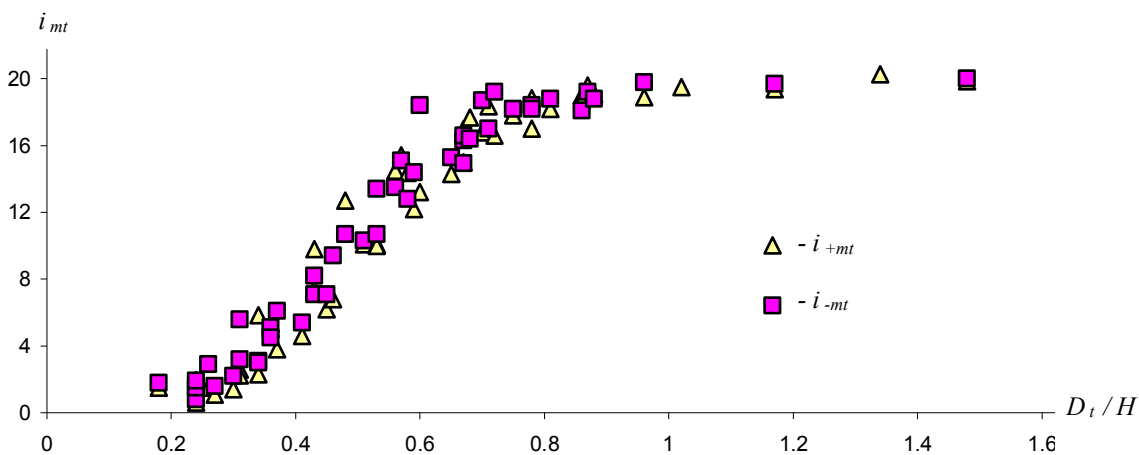


Рис. 3. Розподіл i'_{mt} , i'_{-mt} від D_t/H по спостережних станціях

З рис. 3 видно, що залежність L_{-mt}/H від D_t/H має чітко виражений прямолінійний характер. Цю залежність можна описати рівнянням:

$$L_{-mt}/H = 0,81 D_t/H, \tag{3}$$

при цьому середньоквадратичне відхилення відношень L_{-mt}/H , визначених за (3), від величин, приведених у табл. 1, складає $\pm 0,054$.

Розподіл L_{0t}/H від D_t/H вказує, що точка нульового нахилу незалежно від розміру очисної виробки знаходиться над виробленим простором, а залежність L_{0t}/H від D_t/H має виражений прямолінійний характер. Установлено, що з ймовірністю апроксимації $R^2 = 0,94$ положення перехідної точки нахилів земної поверхні над очисним вибоєм, що переміщується, описується формулою:

$$L_{0t} = 0,45D_t - 0,25. \tag{4}$$

Порівняння фактичних співвідношень L_{0t}/H (табл. 1) з визначеними за (4) показало, що обчислені величини мають середньоквадратичну похибку, рівну $\pm 0,035$.

З графіків на рис. 2 і 3 випливає, що зміна нахилів земної поверхні починає реально проявлятися (у межах точності маркшейдерських інструментальних вимірів) при відношенні розміру очисної виробки до глибини, рівному 0,2. На інтервалі зміни D_t/H від 0,2 до 0,8 відбувається інтенсивне зростання максимальних нахилів (як позитивних, так і негативних) за законом, що близький до лінійного. З

ймовірністю апроксимації $R^2 = 0,94$ розподіл i'_{mt} і i'_{-mt} від D_t/H (рис. 3) описується подібною залежністю:

$$i'_{mt} = i'_{-mt} = 1,75D_t/H - 0,36, \tag{5}$$

і починаючи від $D_t/H = 0,8$ величини i'_{mt} і i'_{-mt} прагнуть до своїх максимумів, рівних відповідно 2 і -2.

У результаті відповідного математичного аналізу розподілу величин D_t , L_{mt} , L_{-mt} , L_{0t} , i'_{mt} , i'_{-mt} , та їх спільної обробки було отримано результуючий графік, який характеризує положення і величини максимальних (позитивних і негативних) нахилів, і точки перегину кривій нахилів земної поверхні над очисним вибоєм, що переміщується, на стадії формування мульди зрушення (рис. 4).

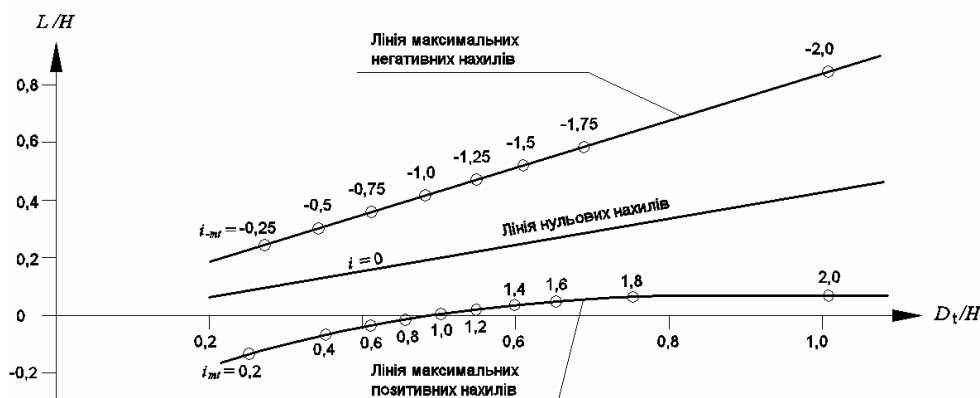


Рис. 4. Зведений графік розташування і величин максимальних нахилів у мульдї зрушення

Аналіз результуючого графіка, який характеризує розвиток максимальних нахилів земної поверхні на стадії формування мульди зрушення, показує, що при відношенні розміру виробленого простору (за напрямком руху очисного вибою) $D_t/H < 0,5$ точка максимального позитивного нахилу (вона ж – точка перегину на кривій осідання) розташовується за межами проекції очисної виробки. При $D_t/H = 0,5$ положення максимуму позитивних нахилів збігається з проекцією розрізної печі.

В міру збільшення розмірів очисної виробки точка максимуму позитивних нахилів переміщується у бік вибою, а величини нахилів продовжують збільшуватися. При $D_t/H = 0,75$ положення точки максимуму стабілізується і вона зупиняється на відстані $0,07L/H$ від розрізної печі. При цьому максимальний нахил складає 90 % від граничного значення. Граничного значення, що дорівнює 2, максимальний нахил досягає при відношенні розміру виробки до глибини, близькому до 1.

Точка нульових нахилів незалежно від розміру виробленого простору розташовується винятково над очисною виробкою.

Загальний аналіз графіків на рис. 4 дозволяє зробити ще один важливий висновок про те, що позитивні і негативні максимальні нахили земної поверхні при тому самому положенні очисного вибою однакові за величиною.

З урахуванням виразу (2) і графіка, що наведений на рис. 4, величина поточного значення максимального нахилу може бути визначена за формулою:

$$i_{mt} = i'_{mt} \frac{\eta_m}{H}, \tag{6}$$

де i'_{mt} – одиничне значення максимального нахилу, яке визначають з графіка на рис. 4; η_m – максимальне осідання в даних умовах підробки земної поверхні.

Висновки. Дослідження розташування максимальних нахилів земної поверхні в мульдї зрушення в стадії її формування в умовах Західного Донбасу показали, що положення точок, які мають максимальний нахил, залежить від поточного розміру очисної виробки і ця залежність не розподіляється за лінійним законом.

В міру розвитку очисної виробки максимум позитивних нахилів постійно переміщується у бік руху очисного вибою, але при відношенні розміру виробленого простору $D_t/H < 0,5$ точка максимального нахилу розташовується над ціликом вугільного пласта, який розроблюють.

При досягненні очисною виробкою розміру $D_t/H = 0,75$ положення точки максимуму стабілізується, воно зупиняється на відстані $0,07L/H$ від розрізної печі. При цьому максимальний нахил складає 90 % від граничного значення.

При відношенні розміру виробки до глибини $D_t/H = 1,05$ нахил досягає свого граничного значення,

рівного $2\eta_m/H$.

Горизонтальна відстань від проекції розрізної печі на земну поверхню до точки, у якій нахил поверхні мульди змінюється з позитивного на негативний, залежить від поточного розміру очисної виробки і змінюється за лінійним законом.

Положення точок, які мають максимальний негативний нахил, так само залежить від поточного розміру очисної виробки і ця залежність має вигляд лінійного закону. В міру розвитку очисної виробки максимум негативного нахилу постійно переміщується у бік руху очисного вибою, а величина нахилу інтенсивно зростає і лінійно залежить від розміру виробленого простору. Це спостерігається до моменту досягнення виробкою розміру, рівного 0,8 від глибини розробки вугільного пласта, після чого зростання нахилів різко зменшується і досягає свого граничного значення $-2\eta_m/H$ при розмірі очисної виробки, близькому до глибини розробки.

Значення позитивних і негативних максимальних нахилів земної поверхні при тому самому розмірі очисної виробки однакові за величиною.

Установлені закономірності розташування характерних точок кривих нахилів земної поверхні дозволяють уточнити методику прогнозу впливу очисних робіт на земну поверхню в зоні розвитку мульди зрушення, яка дотепер залишається недостатньо вивченою.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом// Отраслевой стандарт. – К.: Мінпаливенерго України, 2004. – 127 с.
2. *Авершин С.Г.* Сдвигение горных пород при подземных разработках. – М.: Углетехиздат, 1947. – 245 с.
3. *Батугин С.А.* Сдвигения и деформации земной поверхности и горных пород над движущимся забоем: Сб. статей по вопросам исследования горного давления и сдвигения горных пород. – ВНИМИ, 1962. – Сб. 47. – С. 159–199.
4. *Авершин С.Г.* О наибольших значениях характеристик мульды сдвигения// Тр. ВНИМИ. – 1952. – Сб. 26. – С. 3–20.
5. *Акимов А.Г.* К расчету наибольших горизонтальных сдвижений земной поверхности при разработке пологих пластов// Тр. ВНИМИ. – 1960. – Сб. 34. – С. 294–304.
6. *Медянцева А.Н.* Максимальные деформации земной поверхности// Тр. ВНИМИ. – 1963. – Сб. 50. – С. 190–193.
7. *Назаренко В.А., Антипенко Г.А.* О некоторых терминах и определениях процесса сдвигения земной поверхности// Уголь Украины.– 2001.– № 9.– С. 44–45.
8. *Назаренко В.А., Пикар С.Н., Йоценко Н.В.* Закономерности расположения максимальных положительных наклонов земной поверхности в мульде сдвигения // Науковий вісник. – Дніпропетровськ: НГУ. – 2007. – № 2. – С. 19–23.

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

Наукові інтереси:

- зрушення гірських порід і земної поверхні при розробці родовищ корисних копалин;
- механіка гірських порід.

Тел. (0562) 34-55-79.

E-mail: nazar54@yandex.ru.

КУЧИН Олександр Сергійович – кандидат 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) 45-85-01.

ЙОЦЕНКО Надія Володимирівна – інженер-маркшейдер ВАТ "Дніпродіпрошахт".

Наукові інтереси:

- зрушення земної поверхні при розробці вугільних родовищ.

Тел. (0562) 45-95-01.

Подано 02.06.2007