

УДК 622.1:622.834.1

А.С. Кучин (д-р техн. наук, доц.), **В.А. Назаренко** (д-р техн. наук, проф.), **Е.А. Сдвижкова** (д-р техн. наук, проф.)
ГВУЗ «Национальный горный университет»,
г. Днепропетровск
as_kuchin@mail.ru

ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НАД РАЗРЕЗНОЙ ПЕЧЬЮ ПРИ ЗАКОНЧИВШЕМСЯ ПРОЦЕССЕ СДВИЖЕНИЯ

Предложена новая методика установления типового распределения горизонтальных деформаций для условий Западного Донбасса. Разработан механизм приведения кривых горизонтальных деформаций к единым горно-геологическим условиям подработки. Установлены зависимости между максимальными горизонтальными деформациями, их положением в полумульде и глубиной разработки.

Ключевые слова: Западный Донбасс, сдвижения и деформации, мульда, глубина разработки, мощность пласта.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Разработка пластовых месторождений полезных ископаемых приводит к деформированию массива горных пород и земной поверхности, что оказывает пагубное влияние на подрабатываемые объекты. В соответствии с нормативным документом [1] для каждого подрабатываемого объекта должен быть составлен проект подработки. В основе проекта лежит методика прогнозирования сдвижений и деформаций земной поверхности, достоверность которой определяет правильность выбора мероприятий по охране подрабатываемого объекта. Следовательно, задачи, направленные на корректировку методики прогнозирования сдвижений и деформаций с целью повышения ее достоверности, являются актуальными. Особенно это касается горнодобывающего региона Западного Донбасса, горно-геологические условия залегания угольных пластов которого существенно отличаются от других регионов.

Постановка задач исследований. Горно-геологические условия подработки наблюдательных станций в Западном Донбассе отличаются глубинами, размерами выработанного пространства, незначительным различием вынимаемой мощности пласта, скоростью подвигания очистного забоя и мощностью покрывающих пород. Скорость подвигания очистного забоя не влияет на величины сдвижений и деформаций при закончившемся процессе сдвижения. Анализ максимальных величин сдвижений и деформаций земной поверхности показал, что на них не оказывает влияние изменчивость мощности наносов. При рассмотрении характера распределения горизонтальных деформаций исключительно в условиях полной подработки влияние размеров выработанного пространства также можно исключить. Таким образом, в рассматриваемых условиях на величины и распределение горизонтальных деформаций оказывают влияние только глубина разработки и вынимаемая мощность угольного пласта. Увеличение глубины разработки способствует уменьшению горизонтальных деформаций за счет увеличения длины полумульды. Исходя из этого, для анализа и обобщения характера распределения горизонтальных деформаций необходимо привести их к единичной глубине подработки и единичной вынимаемой мощности.

Изложение материала и результаты. Данная задача легко решается с помощью средств, предоставленных программной средой AutoCAD. Графики горизонтальных деформаций необходимо отмасштабировать в горизонтальной плоскости в соответствии с коэффициентом K_H равным $1/H$. Горизонтальные деформации в общем виде являются функцией двух переменных: максимального оседания земной поверхности и длины полумульды $f(\eta, 1/L)$. Учитывая, что максимальное оседание при полной подработке прямопропорционально мощности пласта, а длина полумульды – глубине разработки, функциональную зависимость можно записать в виде $\varepsilon = f(m, 1/H)$. В соответствии с этим в вертикальной плоскости для приведения кривых горизонтальных деформаций к единым горно-геологическим условиям подработки используем коэффициент K_L равный H/m .

Рассмотрим принцип приведения кривой деформаций для условий подработки наблюдательной станции на глубине $H=200$ м и вынимаемой мощности угольного пласта $m=1.2$ м. Очевидно, что коэффициент K_H будет иметь малые значения, а коэффициент K_L – большие. Это приведет к значительному дисбалансу вертикальных и горизонтальных размеров графиков горизонтальных деформаций, а, следовательно, к сложности проведения их взаимного анализа. Для устранения такого дисбаланса введем масштабный коэффициент для значений глубины разработки равный для коэффициентов K_H $1/100$, а для коэффициентов K_L – $1/1000$. С учетом коэффициента масштабирования величины K_H и K_L составят:

$$K_H = \frac{1}{(H/100)} = \frac{1}{2} = 0.5$$
$$K_L = \frac{(H/1000)}{m} = \frac{0.2}{1.2} = 0.167$$

Соответственно для кривой фактических деформаций (рис. 1) в вертикальном направлении следует использовать коэффициент масштабирования $K_L = 0.167$, в горизонтальном – $K_H = 0,5$. Масштабирование в обоих направлениях необходимо производить относительно точки смены знака горизонтальных деформаций [2].

Совмещение графиков по различным наблюдательным станциям необходимо производить по характерным точкам. При этом следует учесть, что границы полумульды определяются на основании критериев, соответствующих горизонтальным деформациям на границе полумульды равным 0.5 мм/м. Точность определения точек с принятыми критериями, вследствие их расположения в зоне малых деформаций, невелика. Это связано с колебанием значений горизонтальных деформаций, сопоставимым с принятым критерием. Характерные точки кривой горизонтальных деформаций [2] имеют меньшую погрешность их определения (к аналогичному выводу пришли в работах [3,4]).

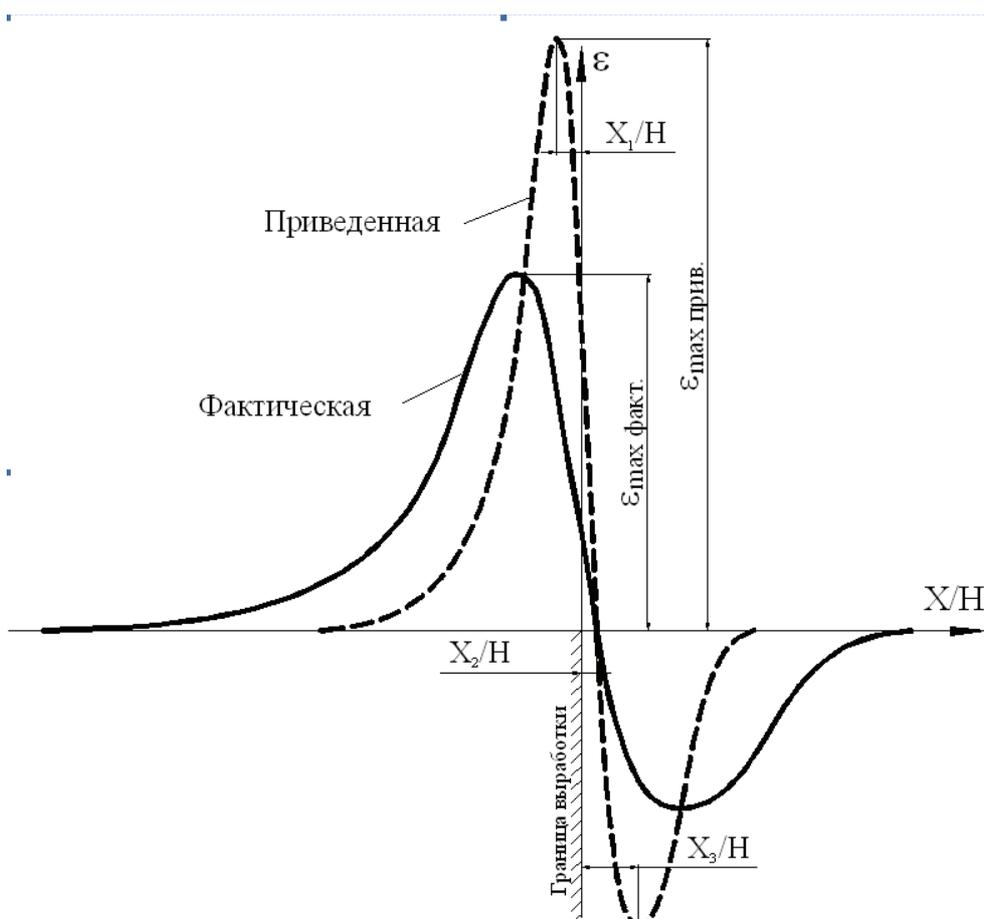


Рис. 1. Схема приведения графиков горизонтальных деформаций к единым горно-геологическим условиям

Зависимости характерных точек кривых горизонтальных деформаций свидетельствуют об их различном положении относительно границ выработанного пространства. Это необходимо учитывать при сопоставлении приведенных графиков распределения горизонтальных деформаций. Наиболее устойчивой точкой для полумульд над разрезной печью, над подготовительными штреками и над линией остановки очистного забоя является точка 2 смены знака горизонтальных деформаций (рис. 1). Зависимость положения этой точки для всех рассматриваемых полумульд выражается в виде:

$$X_2/H = 0.000123H + 0.04, \quad (1)$$

где H – глубина разработки.

В табл. 1 представлены безразмерные значения X_2/H в диапазоне глубин 100-550м.

Таблица 1

Глубина Н, м	X ₂ /Н	Глубина Н, м	X ₂ /Н
100	0.053	350	0.083
150	0.059	400	0.090
200	0.065	450	0.096
250	0.071	500	0.102
300	0.077	550	0.108

Значения горизонтальных деформаций характеризуются некоторой детерминированностью, обусловленной точностью линейных измерений и случайными ошибками при их производстве. Особенно высока степень детерминированности рассматриваемых величин в краевых частях мульды сдвижения, где величины деформаций соизмеримы с погрешностями измерений. Вследствие этого, перед приведением графиков к единым условиям, необходимо выполнить сглаживание кривых горизонтальных деформаций.

Используем для сглаживания кривых наиболее простой способ скользящего среднего. Сглаживание графиков по принципу "скользящего окна" с шагом 3 в определенной мере устраняет случайные колебания, при этом сглаженные значения деформаций для i -го интервала определяются по формуле:

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

где ε_{i-1} – деформация предыдущего интервала; ε_i – деформация текущего интервала; ε_{i+1} – деформация последующего интервала.

В результате выполнения операций по сглаживанию горизонтальных деформаций и приведению их к единым горно-геологическим условиям подработки получены графики приведенных величин $\varepsilon_{\text{прив}}$. Для совместного анализа полученных графиков их необходимо сопоставить в единой системе координат. Примем систему координат, начало которой совпадает с положением границ выработанного пространства. Ось ОХ направлена в сторону движения очистного забоя (для полумульды над подготовительными штреками – в сторону выработанного пространства). Позиционировать графики приведенных горизонтальных де-

формаций будем по точкам смены их знака (точка 2 на рис. 1), в соответствии с относительными координатами (табл. 1).

В результате перечисленных действий получены совмещенные графики приведенных горизонтальных деформаций в полумульде над разрезной печью (рис. 2) и в полумульде над подготовительными штреками (рис. 3).

С увеличением глубины подработки наблюдательных станций точка с максимальным значением растяжения приближается к границе выработанного пространства. Точки с максимальным значением сжатия имеет аналогичную, но менее выраженную тенденцию.

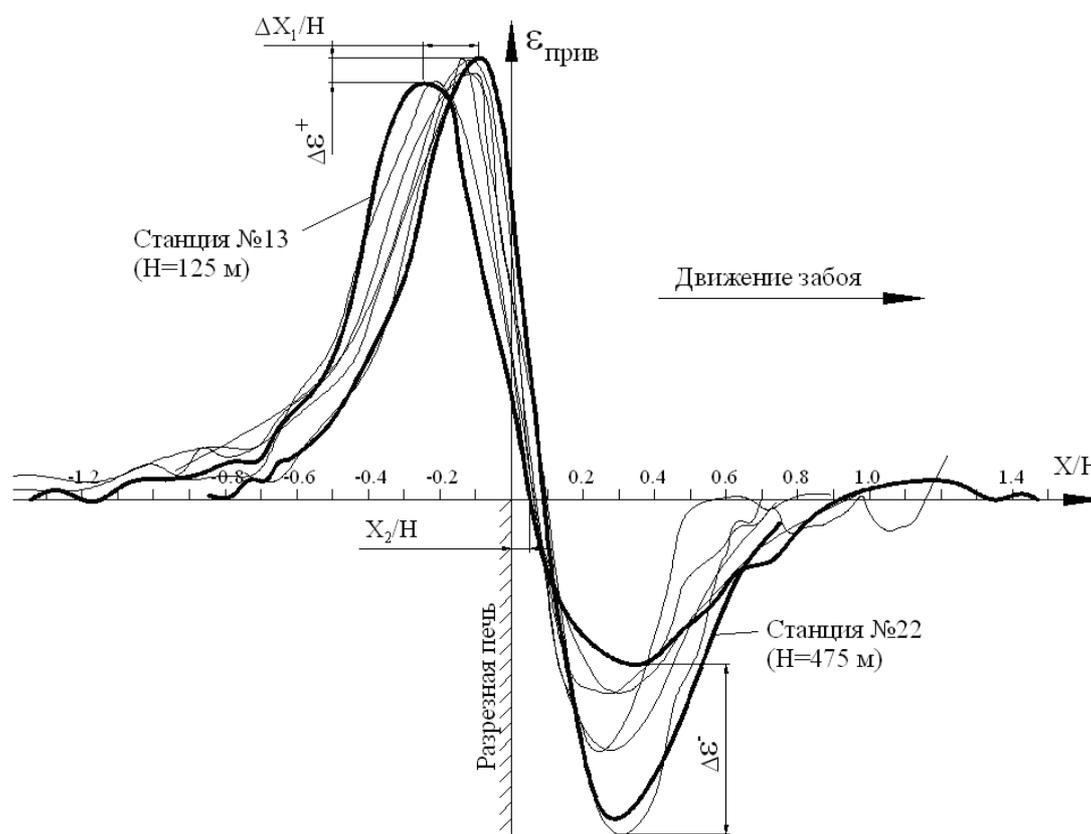


Рис. 2. Графики приведенных горизонтальных деформаций $\varepsilon_{\text{прив}}$ в полумульде над разрезной печью

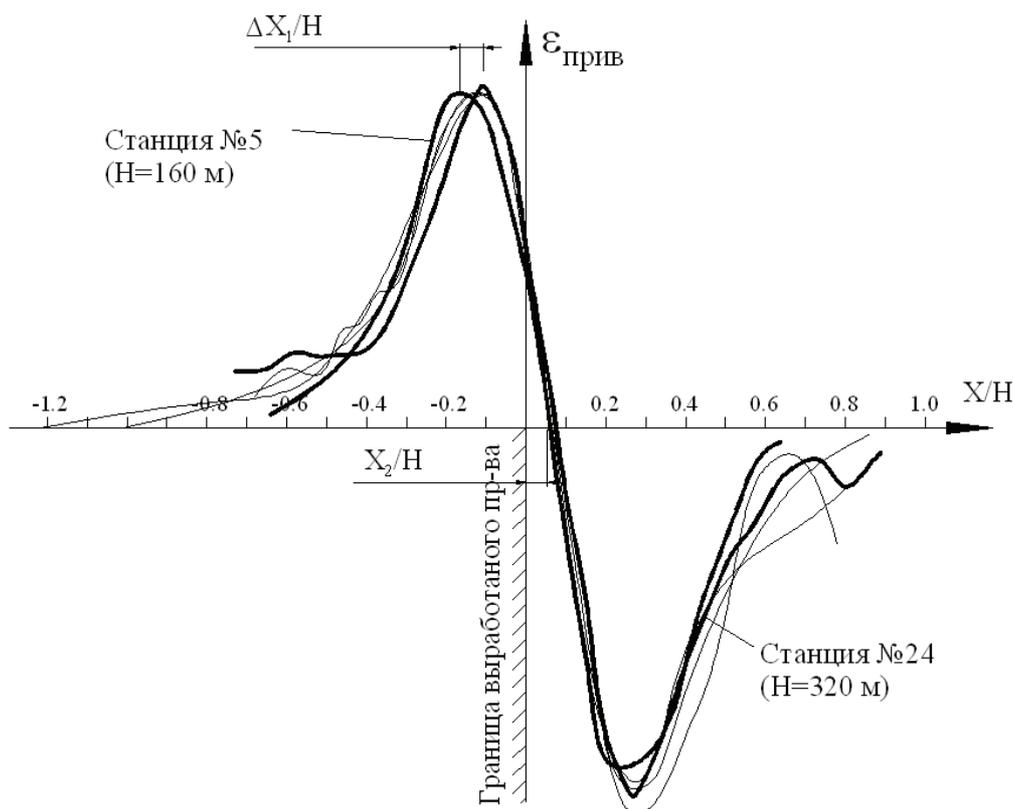


Рис. 3. Графики приведенных горизонтальных деформаций $\epsilon_{\text{прив}}$ в полу-муде над подготовительными штреками

Разброс максимальных положительных значений приведенных горизонтальных деформаций $\epsilon_{\text{прив}}^+$ характеризуется небольшими величинами. Максимальное значение $\epsilon_{\text{прив}}^+$ имеют при больших глубинах подработки и наоборот. Величина $\Delta\epsilon^+$ (рис. 2) составляет 13% от максимального значения горизонтальных растяжений. Максимальные сжатия имеют выраженную тенденцию к увеличению с ростом глубины подработки. Отношение $\Delta\epsilon_{\text{сж}}/\epsilon_{\text{сж}}$ составляет 0,51, что существенно влияет на соотношение максимальных растяжений и сжатий с увеличением глубины подработки. Учитывая, что максимальное значение ξ_3^+ является практически постоянным и не зависит от глубины подработки, дополнительные растяжения $\Delta\epsilon_r$ оказывают меньшее влияние на максимальные величины горизонтальных деформаций.

Увеличение максимальных приведенных горизонтальных деформаций с переходом на более глубокие горизонты разработки угольных пластов не приводит к увеличению фактических де-

формаций. Это связано с увеличением значений коэффициентов K_L при больших глубинах подработки. При определении фактического распределения горизонтальных деформаций на основе приведенных величин эти коэффициенты вводятся в знаменателе, уменьшая тем самым величины деформаций.

Зависимость максимальных приведенных растяжений и сжатий от глубины описываются линейными функциями вида:

$$\varepsilon_{сж} = 0.00132H + 0.285 \quad (2)$$

$$\varepsilon_p = 0.000183H + 1.16 \quad (3)$$

Очевидно, существует такая глубина подработки, при которой максимальные сжатия в полумульде над разрезной печью будут равны максимальным сжатиям в полумульде над подготовительными штреками.

При одинаковых значениях D/H соотношения $\varepsilon_{сж}/\varepsilon_p$ имеет большие значения для наблюдательных станций, подрабатываемых на большей глубине подработки. Такая закономерность прослеживается как на стадии формирования мульды сдвижения ($D/H < 1.5$), так и при переходе процесса в стадию синхронного сдвижения ($D/H > 1.5$).

Кривые горизонтальных деформаций (рис. 4) в полумульде над подготовительными штреками характеризуются симметричностью относительно точки смены знака горизонтальных деформаций и одинаковыми величинами максимальных растяжений и сжатий земной поверхности. Распределение деформаций в ней соответствует процессу сдвижения при отсутствии влияния движения очистного забоя.

Представим, что угольный пласт извлечен сразу по всей площади выемочного столба (именно по такому принципу осуществляется прогнозирование сдвижений и деформаций земной поверхности в [1]). В этом случае при горизонтальном залегании угольного пласта характер распределения сдвижений и деформаций и их величины в главных сечениях мульды сдвижения будет одинаковым. Логично предположить, что процесс сдвижения у границ выработанного пространства будет происходить также, как вдоль подготовительных штреков при постепенной отработке выемочного столба. Исходя из этого, изменения в распределении

горизонтальных деформаций в полумульдах над разрезной печью и линией остановки лавы является следствием движения очистного забоя. Перемещение груди забоя в условиях Западного Донбасса происходит практически в горизонтальной плоскости. Этим можно объяснить влияние движения очистного забоя только на горизонтальную составляющую вектора сдвижения.

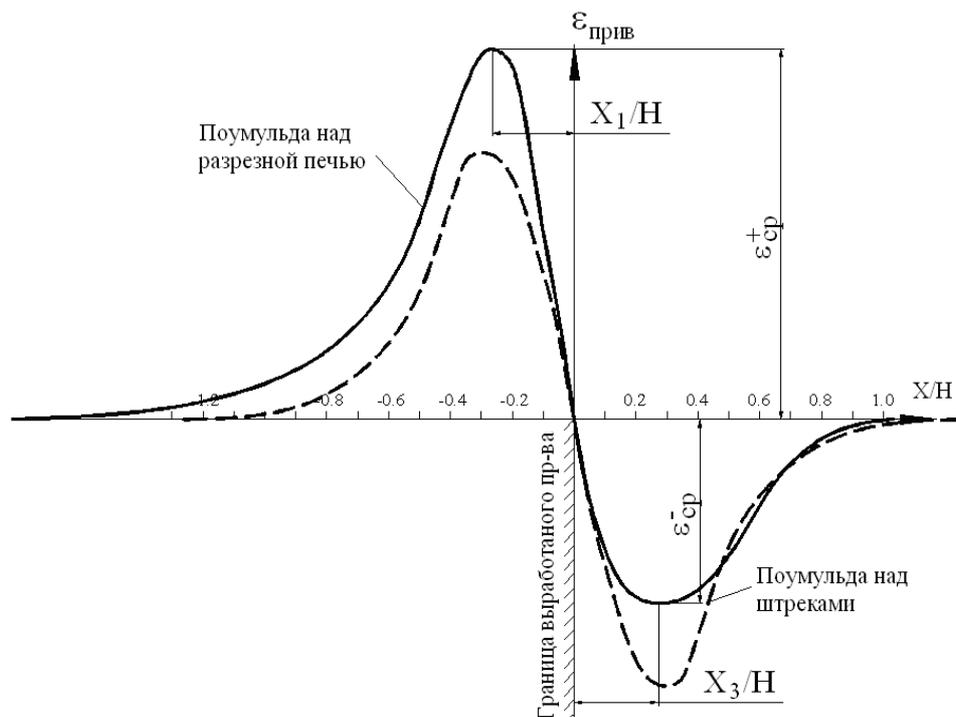


Рис. 4. Усредненное распределение приведенных деформаций в полумульдах над разрезной печью и над выемочными штреками

В соответствии с вышесказанным для полумульды над подготовительными штреками введем понятие базового распределения горизонтальных деформаций. Характер распределения горизонтальных деформаций в остальных полумульдах на основе базового распределения можно определить введением коэффициентов функции $f(\Delta\epsilon_p)$.

Для нахождения коэффициентов функции $f(\Delta\epsilon_p)$ необходимо установить типовое распределение величин $\epsilon_{прив}$ для условий различной глубины подработки. Иными словами необходимо определить коэффициенты типовых кривых распределения горизонтальных деформаций относительно границ выработанного пространства.

Для достижения поставленной цели можно использовать два варианта решения. Первый вариант заключается в интерполировании графиков распределения горизонтальных деформаций для различных глубин по вертикальным и горизонтальным сечениям. В этом случае будут иметь место сложности, связанные с разбросом значений горизонтальных деформаций на краях полумульд. В соответствии со вторым вариантом можно определить унифицированное типовое распределение для средней глубины разработки, соответствующей средней для рассматриваемых условий глубине подработки наблюдательной станции №9. В результате совмещения графиков приведенных деформаций и их масштабирования до совпадения с кривой, полученной для наблюдательной станции №9, установлено усредненное распределение в полумульдах над разрезной печью и над выемочными штреками (рис. 4).

Усредненное распределение положительных горизонтальных деформаций в исследуемых полумульдах характеризуется подобием. Наибольшее влияние дополнительных растяжений наблюдается в координатах X/H равных -1,4..0,5.

Для установления типового распределения в полумульде над разрезной печью при изменении глубин подработки с шагом в $\Delta H=100$ м необходимо выполнить следующие операции:

– определить положение точки 2 относительно границ выработанного пространства для различных глубин подработки. Для этого воспользуемся зависимостью (1) или численными значениями X_2/H в табл. 1. Эта точка определяет положение нулевых деформаций и максимальных горизонтальных сдвигов земной поверхности;

– установить положение точек 1 (X_1/H) и 3 (X_3/H) с максимальными величинами горизонтальных растяжений и сжатий для различных глубин подработки. Это можно выполнить, используя зависимости, представленные в работе [2];

– на графике усредненного распределения горизонтальных деформаций (рис. 4) определить положение точек 1 (X^{cp}_1/H) и 3 (X^{cp}_3/H), а также величины максимальных приведенных растяжений ε_{cp}^+ и сжатий ε_{cp} ;

– с помощью зависимостей (2) и (3) установить величины максимальных приведенных деформаций ε_p и $\varepsilon_{сж}$ для различных глубин подработки с выбранным шагом их изменения.

– выполнить масштабирование графиков приведенных горизонтальных деформаций в направлении оси $O\varepsilon_{прив}$ отдельно для участков с растяжениями и сжатиями земной поверхности. Коэффициенты масштабирования можно определить по выражениям:

$$\begin{aligned} K_\varepsilon &= \varepsilon_p / \varepsilon_{cp}^+ \text{ (для растяжений),} \\ K_\varepsilon &= \varepsilon_{сж} / \varepsilon_{cp} \text{ (для сжатий);} \end{aligned} \quad (4)$$

– выполнить масштабирование графиков приведенных горизонтальных деформаций в направлении оси $OХ$ отдельно для участков с растяжениями и сжатиями земной поверхности. Коэффициенты масштабирования определим по выражениям:

$$\begin{aligned} K_X &= X_{cp1} / X_1 \text{ (для растяжений),} \\ K_X &= X_{cp3} / X_3 \text{ (для сжатий);} \end{aligned} \quad (5)$$

– позиционировать полученные графики приведенных деформаций в соответствии с установленным положением точки 2 и глубиной подработки.

В результате выполнения перечисленных действий получено типовое распределение приведенных горизонтальных деформаций F_p для полумульд над разрезной печью и над подготовительными штреками $F_{ш}$ (рис. 5, 6).

Табличные коэффициенты типовых функций распределения для различных глубин разработки, изображенные на рис. 5, 6, взаимосвязаны между собой коэффициентами (4,5). Следовательно, для удобства табличного представления типового распределения приведенных деформаций целесообразно воспользоваться унифицированным табличным распределением значений $\varepsilon_{прив}$ и функциями коэффициентов K_ε и K_X :

$$\begin{aligned} K_\varepsilon^- &= 0.0012H + 0.935 \text{ (в области сжатий);} \\ K_\varepsilon^+ &= 0.00015H + 0.985 \text{ (в области растяжений);} \\ K_X^- &= -0.00065H + 0.930 \text{ (в области сжатий);} \\ K_X^+ &= -0.00012H + 0.858 \text{ (в области растяжений)} \end{aligned} \quad (6)$$

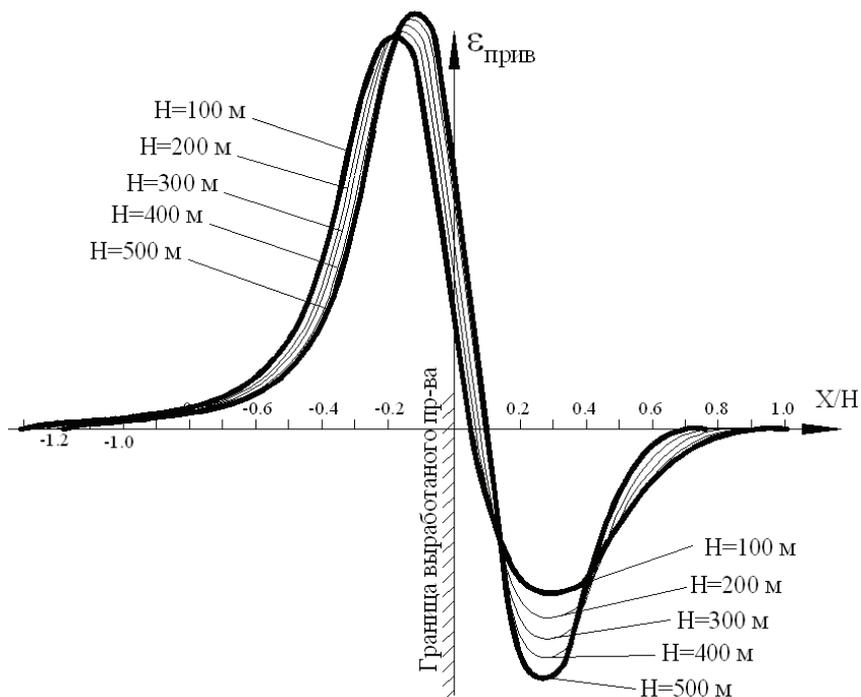


Рис. 5. Типовое распределение приведенных горизонтальных деформаций в полумульде над разрезной печью

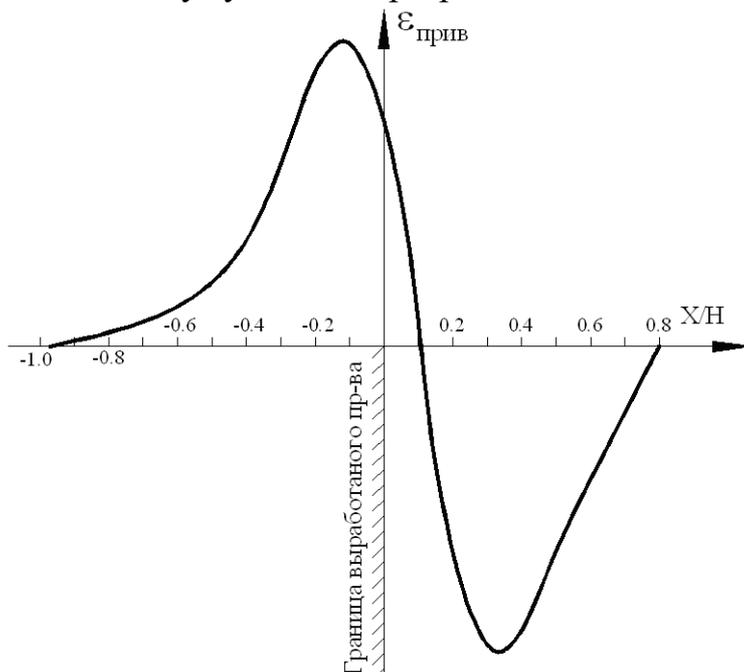


Рис. 6. Типовое распределение приведенных горизонтальных деформаций в полумульде над подготовительными штреками

Коэффициенты функции типового унифицированного распределения приведенных горизонтальных деформаций $F(\varepsilon_{\text{прив}})$ представлены в таблице 2.

Для получения табличных коэффициентов функции $\varepsilon_{\text{прив}}$ для различных глубин необходимо умножить значение функции унифицированного распределения (табл. 2) на коэффициент K_ε , а координату Z на коэффициент K_X .

Таблица 2

Функция унифицированного распределения $F(\varepsilon_{\text{прив}})$ в полумульде над разрезной печью

$Z=X/H$	$F(\varepsilon_{\text{прив}})$	$Z=X/H$	$F(\varepsilon_{\text{прив}})$
Сжатия		Растяжения	
1	0.000	0	0.000
0.9	-0.014	-0.1	0.589
0.8	-0.046	-0.2	1.120
0.7	-0.102	-0.3	1.173
0.6	-0.188	-0.4	0.961
0.5	-0.310	-0.5	0.592
0.4	-0.455	-0.6	0.340
0.3	-0.494	-0.7	0.211
0.2	-0.475	-0.8	0.134
0.1	-0.327	-0.9	0.090
0	0.000	-1	0.064
		-1.1	0.048
		-1.2	0.037
		-1.3	0.028
		-1.4	0.020
		-1.5	0.014
		-1.6	0.000

Одним из показателей, характеризующих влияние движения очистного забоя и глубины подработки на величины горизонтальных деформаций, является соотношение максимальных сжатий и растяжений $\varepsilon_{\text{сж}}/\varepsilon_{\text{р}}$. При глубине подработки $H=100\text{м}$ значение $\varepsilon_{\text{сж}}/\varepsilon_{\text{р}}$ равно 0.38. Увеличение глубины разработки сопровождается увеличением этого соотношения до значения 0.6 при глубине подработки 500м.

Выводы и направления дальнейших исследований. В представленной работе приведены исследования, направленные на совершенствование методики прогнозирования горизонтальных деформаций в условиях Западного Донбасса. Разработан ме-

ханизм приведения кривых горизонтальных деформаций к единым горно-геологическим условиям подработки. Для условий Западного Донбасса предложены типовые кривые горизонтальных деформаций в полумульдах над разрезной печью и над подготовительными штреками. Установлено, что характер распределения горизонтальных деформаций при полной подработке в полумульде над подготовительными штреками не зависит от глубины подработки. В полумульде над разрезной печью увеличение глубины подработки приводит к изменению соотношения максимальных растяжений и сжатий земной поверхности. В дальнейших исследованиях предполагается получить типовое распределение горизонтальных деформаций в полумульде над линией остановки очистного забоя.

Список литературы

1. Правила підробки будівель, споруд та природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.00159226.001-2003. – [Чинний від 2003–11–22]. – К.: Мінпаливенерго України, 2003. – 126 с.–табл. – (Національні стандарти України). – Текст: рос., укр.
2. Кучин О.С. Планове положення точок з максимальними деформаціями земної поверхні / А.С. Кучин // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2011. – Вип. III(58). – С. 179-184.
3. Кулибаба С.Б. Распределение максимальных оседаний в подрабатываемом породном массиве / С.Б. Кулибаба // Уголь Украины. – 2000. – № 12. – С. 42 - 44.
4. Назаренко В.А. Обоснование параметров сдвижения горных пород и земной поверхности при отработке угольных пластов в Западном Донбассе: автореф. канд. дисс. / В.А. Назаренко. – Днепропетровск, 1994. – 23 с.

Стаття надійшла до редакції 18.11.2013.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Ю.Ф. Кренідою

О.С. Кучин, В.О. Назаренко, О.О. Сдвіжкова

ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ
ХАРАКТЕР РОЗПОДІЛУ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ДЕФОРМАЦІЙ НАД РОЗРІЗНОЮ ПІЧЧЮ ПРИ ПРОЦЕСІ ЗРУШЕННЯ, ЩО ЗАКІНЧИВСЯ

Запропонована нова методика встановлення типового розподілу горизонтальних деформацій для умов Західного Донбасу. Розроблений механізм приведення кривих горизонтальних деформацій до єдиних гірничо-геологічних умов підробки. Встановлені залежності між максимальними

горизонтальними деформаціями, їх положенням в напівмульді і глибиною розробки.

Ключові слова: Західний Донбас, зрушення і деформації, мульда, глибина розробки, потужність пласта.

A.S. Kuchin, V.A. Nazarenko, Ye.A. Sdvizhkova

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk

NATURE OF HORIZONTAL DEFORMATIONS DISTRIBUTION OVER FACE ENTRY WHEN MOVEMENT PROCESS HAS ENDED

A new method of establishing typical distribution of horizontal deformation for the Western Donbas is presented. A mechanism of reducing horizontal deformations curves to common mining-geological conditions of undermining is developed. The dependencies between maximum horizontal deformations, their position in semi-trough and the depth of development are established.

Keywords: Western Donbas, subsidence and deformation, trough, mining depth, seam thickness.