

УДК 622.324.5:622.834

ОЦЕНКА СВОЙСТВ ТЕХНОГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ МЕТАНА С УЧЕТОМ ГЛАВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ДЕФОРМАЦИЙ ГОРНОГО МАССИВА В ЗОНЕ ПОЛНЫХ СДВИЖЕНИЙ

Кулибаба С. Б., Ходырев Е. Д.
(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

На підставі аналізу експериментальних даних отримана попередня оцінка співвідношення горизонтальних і вертикальних відносних деформацій гірських порід у зоні повних зрушень підроблюваного масиву, що дозволяє прогнозувати просторові характеристики неоднорідних техногенних газових колекторів.

Based on the analysis of experimental data preliminary estimation of horizontal and vertical relative deformations of rock mass in the zone of bulk movement of the mass being undermined is obtained that enables to predict spatial characteristics of inhomogeneous man-made gas reservoirs.

Для решения задач по оценке характера процессов массопереноса в подработанном массиве необходимо иметь теоретический аппарат для прогноза свойств техногенных коллекторов, образующихся в результате ведения горных работ. Упругие изменения проницаемости определяются раскрытием уже существующих трещин, а необратимые изменения связаны с образованием новых трещин и локализацией пластических деформаций вдоль площадок скольжения. Общий вид проницаемости трещиноватопористой среды с учетом нормальных к плоскости трещин деформаций определяется известными соотношениями, имеющими вид [1]:

$$\bar{K} = \left(\frac{1}{12}\right) \int_S [a(\bar{n}) + \Delta a(\mathcal{E}_{nn}^p)] L_1^2 (m_0 + \mathcal{E}_{nn}^e)^3 (\bar{I} - \bar{n}\bar{n}) dS, \quad (1)$$

где a , Δa , L_1 – функции, характеризующие плотность распределения трещин;

\mathcal{E}_{nn}^p – необратимая нормальная к плоскости трещины составляющая тензора деформаций;

\mathcal{E}_{nn}^e – упругая нормальная к плоскости трещины составляющая тензора деформаций;

\bar{I} – единичный тензор;

m_0 – пористость горных пород;

\bar{n} – вектор нормали к системе трещин;

S – полусфера единичного радиуса.

При чисто упругих деформациях $\mathcal{E}_{nn}^p = 0$ и $\Delta a(\mathcal{E}_{nn}^p) = 0$.

При возникновении необратимых деформаций $\mathcal{E}_{nn}^p \neq 0$ формула разбивается на два слагаемых, одно из которых \bar{K}^e отвечает упругим, т.е. обратимым изменениям проницаемости, а другому \bar{K}^p соответствуют необратимые изменения. Известно, что при необратимых деформациях горных пород, особенно в условиях, близких к одноосному сжатию, происходит значительное разрыхление материала. Деформация \mathcal{E}_{nn}^p по некоторым направлениям оказывается положительной и большой. Это приводит к росту слагаемого \bar{K}^p и общая проницаемость определяется конкуренцией членов \bar{K}^e и \bar{K}^p

$$\bar{K} = \bar{K}^e + \bar{K}^p. \quad (2)$$

Структура определяющих соотношений предполагает использование в расчетах нормальных к плоскости трещин деформаций, которые для трансверсально изотропных слоистых сред полностью определяются величинами деформаций вдоль главных направлений.

Если задача определения вертикальной составляющей тензора деформаций горного массива достаточно хорошо изучена и не вызывает особых трудностей то задача, связанная с оценкой горизонтальных деформаций, требует выполнения соответствующих дополнительных исследований.

Общим отличительным признаком зоны полных сдвижений является наличие "плоского дна" мульды сдвижения – участка массива, в котором подработанные слои занимают положение, параллельное первоначальному, которое они занимали до подработки. Границы указанной зоны в массиве с некоторой степенью приближения определяются прямыми, проведенными из границ очистной выработки в рассматриваемом главном вертикальном сечении мульды сдвижения под углами полных сдвижений $\psi_{1,2}$ на разрезе вкрест простирания и ψ_3 – на разрезе по простиранию пластов.

По бокам от зоны полных сдвижений находятся зоны изгибов 3, в которых породные слои вследствие зависания над выработанным пространством изгибаются подобно балке, заделанной с одного конца, в результате чего в них образуются многочисленные трещины по нормали к напластованию, а также происходят межслоевые подвижки.

Над зонами полных сдвижений и изгибов находится зона плавного прогиба слоев 4, в которой, в отличие от зоны полных сдвижений, "плоское дно" отсутствует, изгиб слоев происходит плавно, без нарушения сплошности, а верхней ее границей является мульда сдвижения на земной поверхности DC с точкой максимального оседания O , определяемой линией, проведенной из середины очистной выработки по углом максимальных оседаний θ .

Остановимся более детально на характере деформирования породных слоев в зоне полных сдвижений. Большинство исследователей сходятся во мнении, что векторы перемещения точек в пределах каждого слоя в этой зоне равны и параллельны друг другу, в результате чего после окончания процесса сдвижения подработанные слои горных пород находят опору на почве вынимаемого пласта, и каждый из них занимает положение, параллельное первоначальному. Вследствие расслоения и упругого восстановления породы в этой зоне испытывают деформации вертикального растяжения, что подтверждено большим количеством экспериментальных данных. При этом предполагается, что горизонтальные деформации пород в зоне полных сдвижений отсутствуют.

Горизонтальные сдвигения и деформации породных слоев зоны полных сдвижений изучены мало по ряду причин [3]. Во-первых, они не являются основным показателем, необходимым для прогноза сдвижений горных пород, точность которого, в свою очередь, обеспечивает корректность принимаемых мер по защите подрабатываемых объектов, как в массиве горных пород (горные выработки), так и на земной поверхности (здания, сооружения, природные объекты), а во-вторых, их характер зависит от слишком большого числа влияющих факторов, экспериментальное исследование которых либо сильно затруднено, либо вообще не представляется возможным.

Рассмотрим формирование зоны полных сдвижений на разрезе по простиранию пласта (рис. 2). Подрабатываемый слой вначале претерпевает деформации изгибов в зоне 3, вследствие чего его монолитная структура нарушается разрывами и секущими трещинами, а после отхода очистного забоя на определенное расстояние этот слой оказывается в зоне полных сдвижений 2, где изгибы отсутствуют. В результате слой действительно занимает положение, параллельное первоначальному, переместившись вниз на величину η . Однако теперь, в отличие от своего первоначального состояния, этот пласт будет иметь нарушенную трещинами структуру, и вследствие дилатансии его длина по сравнению с первоначальной увеличится в пределах зоны 2 на некоторую величину Δ .

На разрезе вкрест простирания породные слои в зоне полных сдвижений над разрабатываемым пластом также имеют секущие трещины, разделяющие их на блоки, хотя характер трещинообразования здесь несколько иной.

Таким образом, можно предположить, что после окончания процесса сдвижения массива горных пород слои в зоне 2 испытывают деформации растяжения не только в вертикальном, но и в горизонтальном направлении. Очевидно, такие горизонтальные деформации будут значительно меньше вертикальных, поскольку, как упоминалось выше, вертикальные растяжения вызваны не только упругим восстановлением породы каждого конкретного слоя, но и расслоениями пород вследствие отделения соседних слоев друг от друга в процессе сдвижения. Логично также пред-

положить, что величины горизонтальных и вертикальных растяжений находятся друг с другом в некоторой зависимости, поскольку и одни и другие отражают степень воздействия подработки на тот или иной участок массива горных пород в границах зоны полных сдвижений.

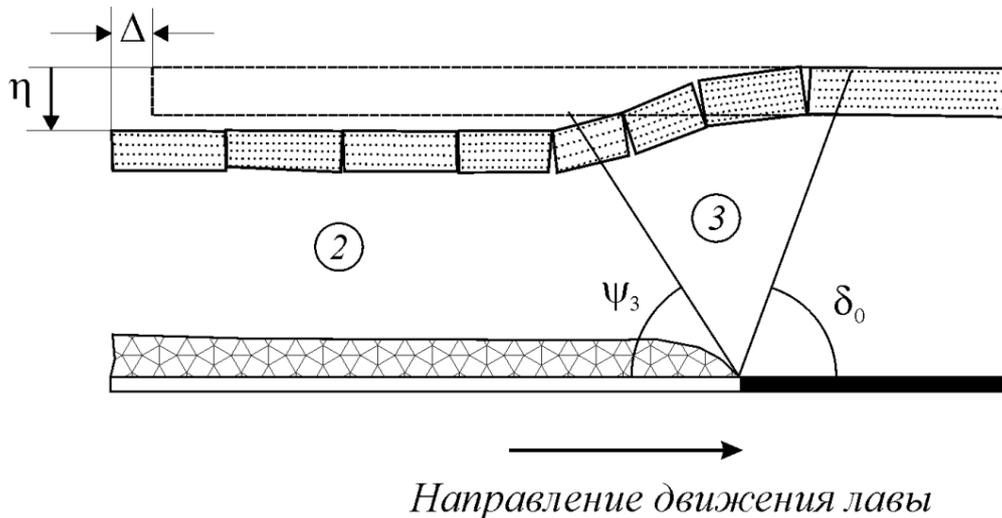


Рис. 2. Изменение положения породного слоя в зоне полных сдвижений после подработки

Для оценки соотношения горизонтальных и вертикальных деформаций в зоне полных сдвижений породного массива рассмотрим результаты экспериментов.

В 1965 г. на шахте № 4 "Ливенка" была оборудована наблюдательная станция с целью определения характера деформирования угля и горных пород при их подработке очистными работами 4-й восточной лавы пласта h_8 (фонды УкрНИМИ). Наблюдательная станция состояла из семи замерных ниш, разделанных в восточном уклоне пласта h_{10} (рис. 3), в которых были заложены реперы для измерения деформаций пород и угля как по нормали к напластованию, так и в плоскости напластования. Ниши 1-3 были пройдены по породе, а ниши 4-7 – по углю. Глубина залегания откаточного штрека 4-й восточной лавы пласта h_8 составляла 360 м, угол падения 25° , мощность 0,61 м, длина лавы 120 м, средняя скорость подвигания очистного забоя – 36 м в месяц, мощность подрабатываемого междупластья $h_8 - h_{10}$ составила 80 м.

Инструментальные наблюдения на станции начались в момент, когда очистной забой подрабатывающей лавы находился на расстоянии 40-45 м от вертикального створа восточного уклона, в котором были оборудованы замерные ниши, и продолжались до полного окончания процесса сдвижения в районе наблюдательной станции.

Из семи замерных ниш только одна попала в зону полных сдвижений – ниша 1 (см. рис. 3). На рисунке 4 показаны графики развития деформаций, измеряемых в этой нише, в зависимости от расстояния l в плане между очистным забоем и створом наблюдательной станции, из которых можно сделать следующие выводы:

– при подходе лавы непосредственно к створу наблюдательной станции и после ее прохода в породах начали развиваться деформации растяжения – как вертикальные ε_z , так и горизонтальные ε_r ;

– значения относительных вертикальных деформаций растяжения пород после стабилизации процесса сдвижения составили 16-18 мм/м, а горизонтальных – соответственно 2,6-2,9 мм/м;

– отношение горизонтальных деформаций к вертикальным составляет приблизительно 0,16.

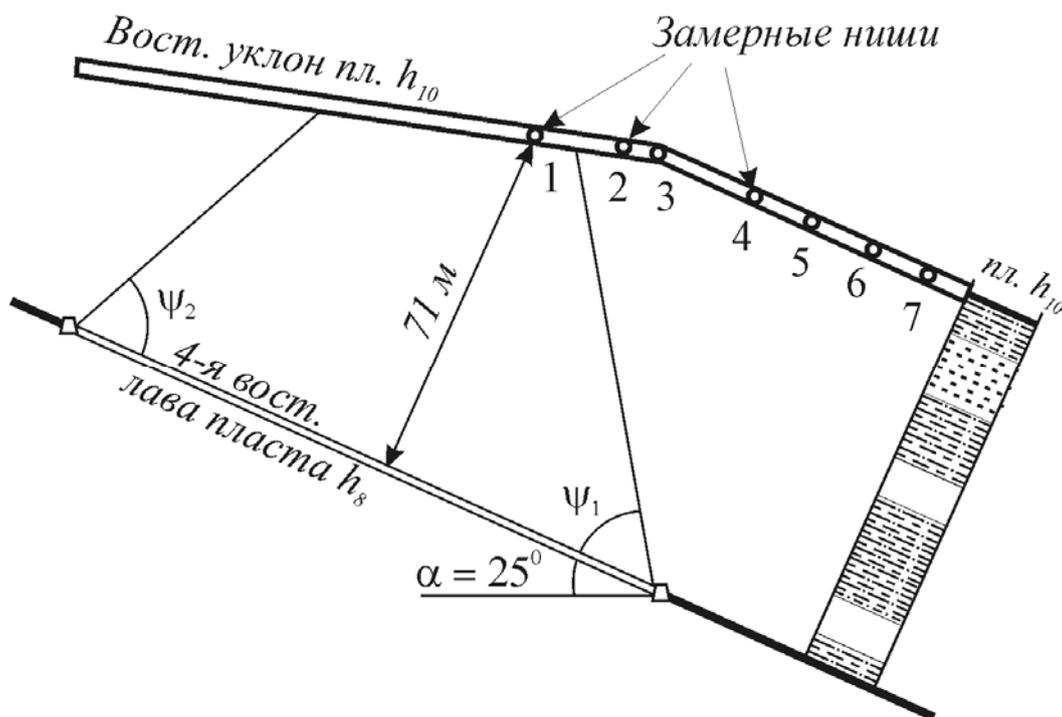


Рис. 3. Вертикальный разрез по линии вкрест простирания

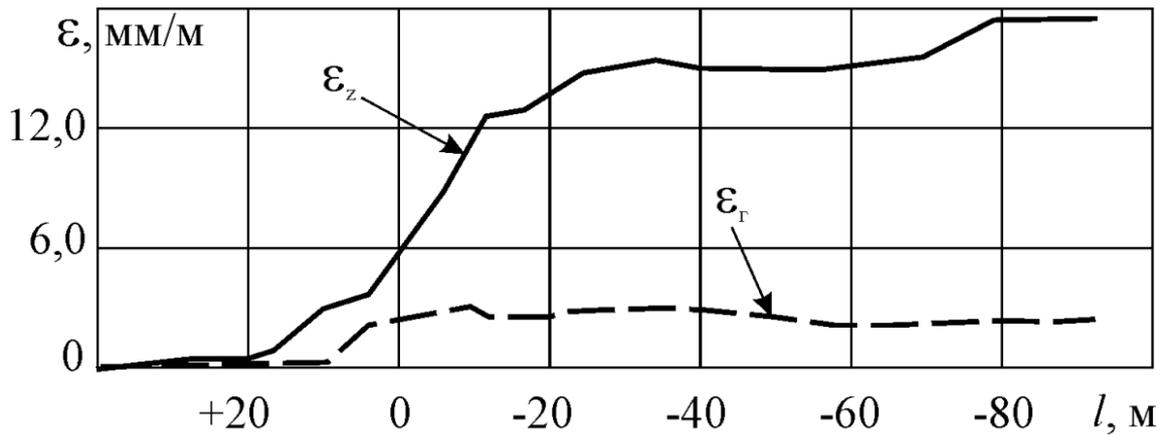


Рис. 4. График развития вертикальных ε_z и горизонтальных ε_r относительных деформаций горных пород в зоне полных сдвижений

Во втором эксперименте инструментальные наблюдения проводились на наблюдательной станции, оборудованной в квершлага горизонте 160 м шахты "Заря" объединения "Горезантрацит" при его подработке 1-ой восточной лавой пласта h_6 (рис. 5). Подработка квершлага проходила в следующих условиях: средняя глубина разработки 280 м, угол падения пласта 19° , вынимаемая мощность 1,03–1,05 м, длина лавы по падению 250 м, управление кровлей – полное обрушение, месячное подвигание очистных забоев в пределах целика 36 – 40 м. В результате подработки после окончания процесса сдвижения в квершлага образовалось наклонное плоское дно мульды сдвижения между реперами 14 и 21 (см. рис. 5).

Средние величины горизонтальных $\varepsilon_{r\text{ ср}}$ и вертикальных ε_z относительных деформаций участка плоского дна мульды сдвижения можно определить по формулам:

$$\varepsilon_{r.\text{ср}} = \frac{\xi_{14} - \xi_{21}}{l_{(14-21)}}, \quad (3)$$

$$\varepsilon_z = \frac{\eta_{14} - \eta_{21}}{H_{21} - H_{14}}, \quad (4)$$

где ξ_i и η_i – соответственно абсолютное горизонтальное сдвижение и оседание i -го репера, м;

$l_{(14-21)}$ – расстояние между реперами 14 и 21, м;

H_{14} , H_{21} – высоты расположения соответствующих реперов над разрабатываемым угольным пластом.

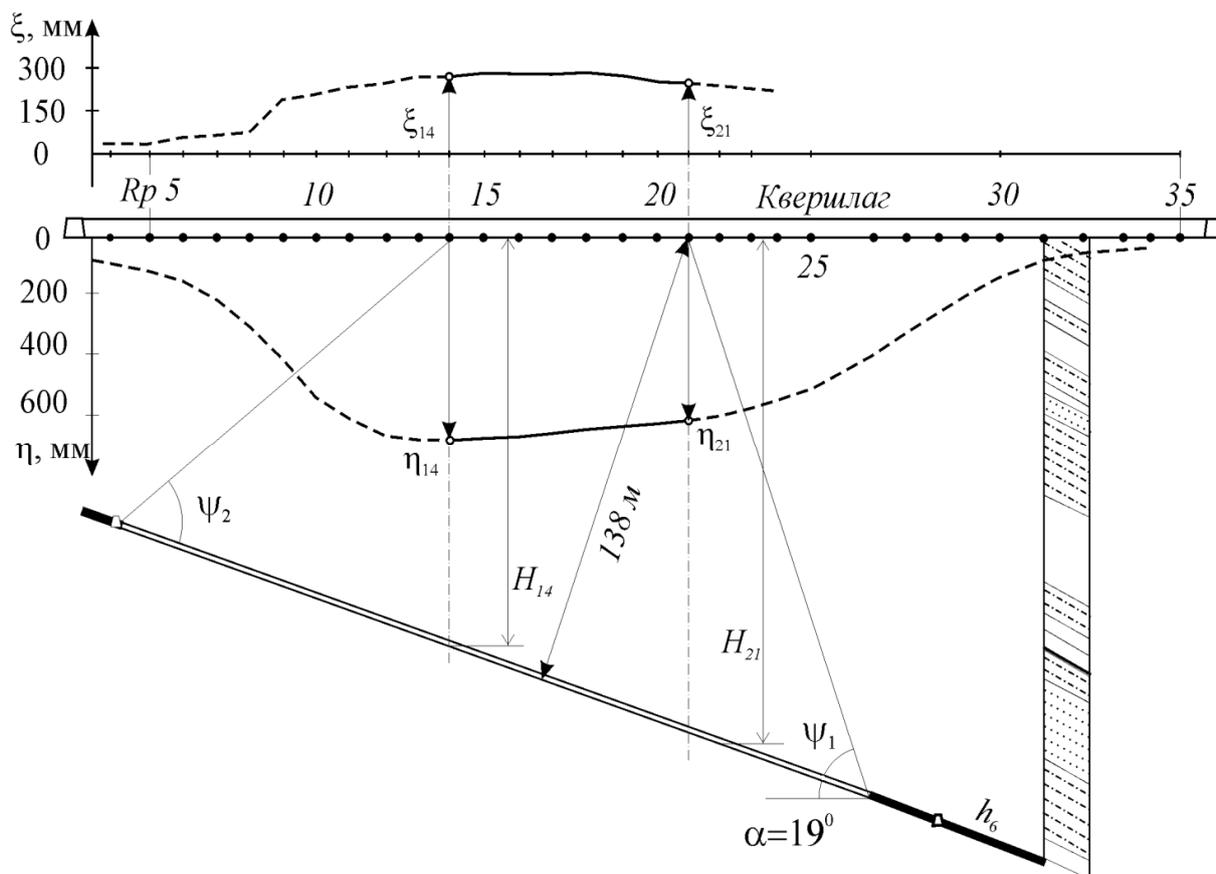


Рис. 5. Оседания (η) и абсолютные горизонтальные сдвигения (ξ) массива по оси квершлага в зоне полных сдвижений

Расчеты показали, что значение $\varepsilon_{\Gamma \text{ ср}}$ на рассматриваемом участке составили $0,37 \times 10^{-3}$, $\varepsilon_z - 2,24 \times 10^{-3}$, а их отношение $\varepsilon_{\Gamma \text{ ср}} / \varepsilon_z = 0,166$.

Выводы.

1. В процессе сдвижения подработанного массива горные породы в границах зоны полных сдвижений вследствие дилатансии слоев испытывают как вертикальные, так и горизонтальные деформации растяжения, величины которых взаимосвязаны. Предварительная оценка показывает, что величина относительных горизонтальных деформаций растяжения в этой зоне составляют

в первом приближении около 10 – 20 % от величины относительных вертикальных деформаций растяжения.

2. Полученные предварительные оценки величин необратимых деформаций позволяют с достаточной для практики точностью прогнозировать пространственные характеристики неоднородных техногенных газовых коллекторов, которые образуются в горном массиве при ведении очистных работ. Свойства этих коллекторов являются определяющим фактором при изучении процессов подземной газо- и гидродинамики и могут быть основой работ по оптимизации систем дренажных мероприятий.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Справочное пособие. Расчетные методы в механике горных ударов и выбросов / Под ред. И. М. Петухова. — М. : Недра, 1982. — 256 с.
2. Земисев В. Н. Расчеты деформаций горного массива. / В. Н. Земисев. — М. : Недра, 1973. — 145 с.
3. Кратч Г. Сдвигение горных пород и защита подрабатываемых сооружений / Г. Кратч; [пер. с нем. К. К.Глазенапа]. — М. : Недра, 1978. — 494 с.
4. Борисов А. А. Расчеты горного давления в лавах пологих пластов. / А. А. Борисов. — М. : Недра, 1964. — 278 с.
5. Бажин Н. П. Охрана подрабатываемых подготовительных выработок / Н. П. Бажин, О. И. Мельников, В. С. Пиховкин, В. В. Райский. — М. : Недра, 1978. — 253 с.
6. Зборщик М. П. Охрана выработок глубоких шахт в выработанном пространстве. / М. П. Зборщик. — Киев : Техніка, 1978. — 176 с.
7. Викторов С. Д. Сдвигение и разрушение горных пород / С. Д. Викторов, М. А. Иофис, С. А. Гончаров. / Отв. ред. К. Н. Трубецкой — М. : Наука, 2005. — 277 с.
8. Антипенко Г. А. Сдвигение земной поверхности на пластовых месторождениях Приднепровья / Г. А. Антипенко, Г. Ф. Гаврюк, А. С. Кучин, В. А. Назаренко. — Дніпропетровськ. — НГУ, 2010. — 184 с.