

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ ЗОНЫ ПОЛНЫХ СДВИЖЕНИЙ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Розглядаються форма і закономірності утворення зони повних зрушень на земній поверхні з метою прогнозування зрушень та деформацій існуючих та проектуємих об'єктів.

Зона полных сдвижений согласно принятой терминологии представляет собой плоскую часть мульды сдвижения, где отсутствуют вертикальные и горизонтальные деформации земной поверхности. Её границы со стороны выработанного пространства определяются в соответствии с принятыми представлениями и действующими нормативными документами углами полных сдвижений [1]. Данные углы образуются между плоскостью отрабатываемого пласта и линиями, соединяющими границы плоского дна мульды сдвижения с границами выработки (лавы) – нижней, верхней и по простиранию. Характерной особенностью зоны полных сдвижений является параллельное перемещение слоев горных пород на величину полного оседания, то есть в этой зоне происходит полная подработка массива горных пород. При этом горизонтальные и вертикальные деформации пород отсутствуют. Поэтому данную зону можно также назвать зоной отсутствия деформаций. К ней примыкают зоны вертикальных растяжений (горизонтальных сжатий) и опорного давления (вертикальных сжатий или горизонтальных растяжений).

При проектировании расположения объектов на земной поверхности или определения безопасной зоны для существующего объекта очень важно учесть влияние подработки на его состояние. От правильного выбора места расположения объекта на земной поверхности будут зависеть условия его эксплуатации. Наиболее приемлемым является расположение объектов в зоне, где отсутствуют деформации горных пород, то есть в зоне полных сдвижений. В связи с этим определение границ данной зоны является актуальной задачей.

Согласно отраслевому стандарту Украины [1] углы полных сдвижений в главных сечениях мульды сдвижения для условий Донбасса равны:

- у нижней границы выработки $\psi_1 = 55^0$;
- у верхней границы выработки $\psi_2 = 55^0 + 0,3\alpha$;
- у границы выработки по простиранию $\psi_3 = 55^0$,

где α - угол падения пласта, градус.

Зона полных сдвижений, построенная по указанным углам на разрезах вкрест простирания и по простиранию ограничивается прямыми линиями и имеет вид треугольника при неполной подработке или четырехугольника при полной. Кроме того, при построении этой зоны, как по простиранию, так и по падению пласта используется средняя глубина отработки лавы. Вследствие этого форма дна мульды в области полных сдвижений, определённая в соответствии с действующими нормативными документами, всегда имеет вид горизонтальной плоскости в направлениях простирания и падения пласта.

Однако, опыт ведения горных работ, эксперименты на моделях из эквивалентных материалов [2], теоретические исследования, математическое моделирование [3] показывают, что форма зоны полных сдвижений имеет сложный вид и ограничивается криволинейной поверхностью, с вогнутостью в сторону выработанного пространства. С

увеличением глубины разработки уменьшаются оседания земной поверхности и соответственно расположение плоского дна мульды в зоне полных сдвижений. Также необходимо отметить, что большинство исследователей сходятся во мнении, что зоны влияния выработанного пространства, построенные по углам сдвижения, не соответствуют их фактической форме, так как линии, проведенные по данным углам, являются условными границами, соединяющими определенную точку выработанного пространства с характерной точкой на земной поверхности или в массиве горных пород. К сожалению, существующие методики прогнозирования сдвижений и деформаций горных пород и земной поверхности данное обстоятельство не учитывают. То есть предполагается, что границы области сдвижений определяются прямыми линиями, проведенными под соответствующими углами и не зависят от глубины разработки в данной точке.

Таким образом, для правильного построения зоны полных сдвижений необходима математическая модель, учитывающая перечисленные факторы.

Рассмотрим плоскую модель, соответствующую разрезу в главном сечении мульды сдвижения по простиранию пласта. В работе [2] приведены результаты моделирования процесса образования зоны полных сдвижений массива горных пород на моделях из эквивалентных материалов. На рисунке 1 показаны данные эксперимента и аппроксимирующая кривая, описываемая уравнением параболы

$$H = 0,037L^2 - 1,357L + 13,561, \quad (1)$$

где L – горизонтальное расстояние от границы лавы до границы плоского дна мульды сдвижения, м;

H – вертикальное расстояние от кровли пласта до соответствующего горизонта, м.

Уравнение (1) соответствует прочности горных пород $\sigma_{с.ж} = 15$ МПа. Кроме того, из данных физического моделирования [2] следует, что кривая, ограничивающая область полных сдвижений выполаживается при увеличении крепости горных пород, то есть коэффициент при L^2 уменьшается. Данный факт хорошо согласуется с исследованиями автора [3] и соответствует схеме сдвижения горных пород, когда горный массив представляется в виде блочной структуры. С увеличением прочности пород увеличивается размер структурных блоков (на исходном уровне – шаг обрушения основной кровли) и соответственно увеличивается радиус кривизны области влияния выработанного пространства. Ранее выполненными исследованиями [3] установлено, что уравнение области влияния выработанного пространства имеет вид параболы и описывается уравнением

$$H = L^2/2p, \quad (2)$$

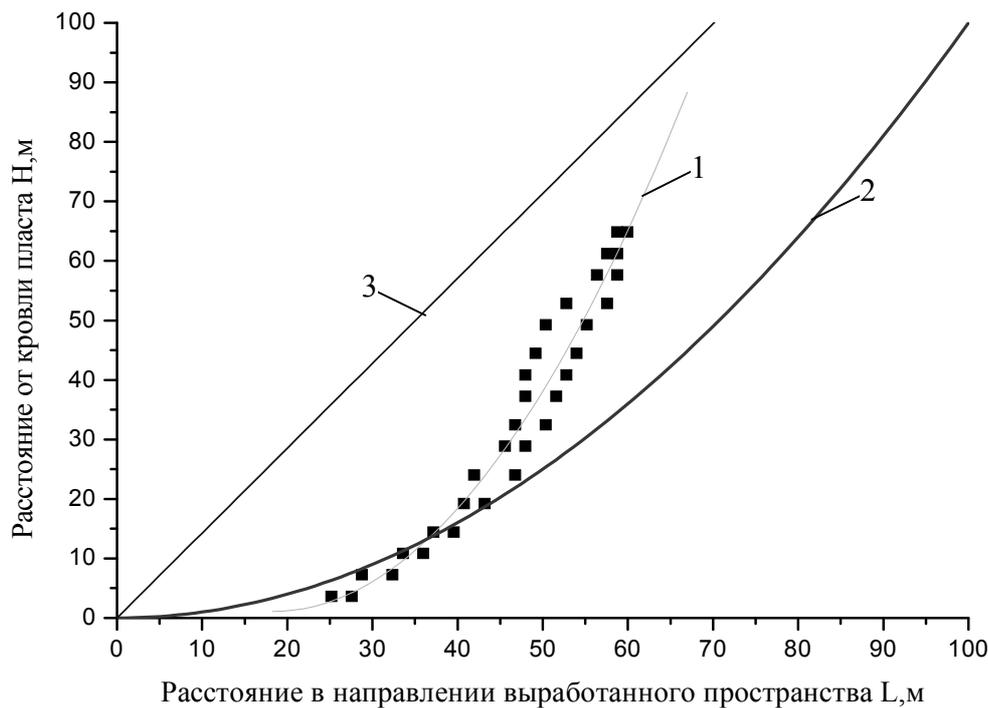
где p – комплексный показатель сдвигаемости горных пород, м.

Значение p для конкретных горногеологических условий определяется по данным практики, а усредненное значение может быть определено по формуле

$$p = 3l_{ш}, \quad (3)$$

где $l_{ш}$ – шаг обрушения основной кровли, м.

На рисунке 1 изображена кривая области влияния выработанного пространства $H = 0,01L^2$, построенная для характерных условий Донбасса ($\sigma_{с.ж}$ до 20 - 30 МПа, $l_{ш} = 17$ м).



- Данные физического моделирования
- 1- Кривая регрессии $H = 0,037L^2 - 1,357L + 13,561$
- 2- Граница зоны полных сдвижений, построенная по уравнению $H = 0,01L^2$
- 3- Граница зоны полных сдвижений, построенная согласно нормативным документам $H = L \tan 55^0$

Рис.1. Границы зоны полных сдвижений.

Согласно формулам 1 и 2 расстояние от границы выработанного пространства до границы зоны полных сдвижений увеличивается с увеличением глубины разработки, что приводит к уменьшению оседания. Таким образом, в разрезе вкрест простирания пласта плоское дно мульды будет иметь наклон в сторону восстания.

Данный характер распределения сдвижений земной поверхности проявляется при отработке выемочных столбов по восстанию или падению пласта и существенно отличается от варианта отработки лав по простиранию.

Официальная методика расчета сдвижений и деформаций предусматривает влияние глубины разработки на величину максимального оседания в мульде сдвижения при помощи так называемых коэффициентов подработанности земной поверхности, которые прямо пропорциональны размерам выработанного пространства и обратно пропорциональны глубине разработки. Однако данные коэффициенты определяются только для средней глубины лавы и размеров по простиранию и падению. Таким образом, влияние глубины разработки для верхней и нижней границ лавы усредняются, что приводит к "нивелированию" плоского дна мульды в направлении вкрест простирания.

На рисунке 2 показан результат математического моделирования сдвижений земной поверхности при отработке лавы вкрест простирания и кривая, изображающая мульду сдвижения, построенная по официальной методике.

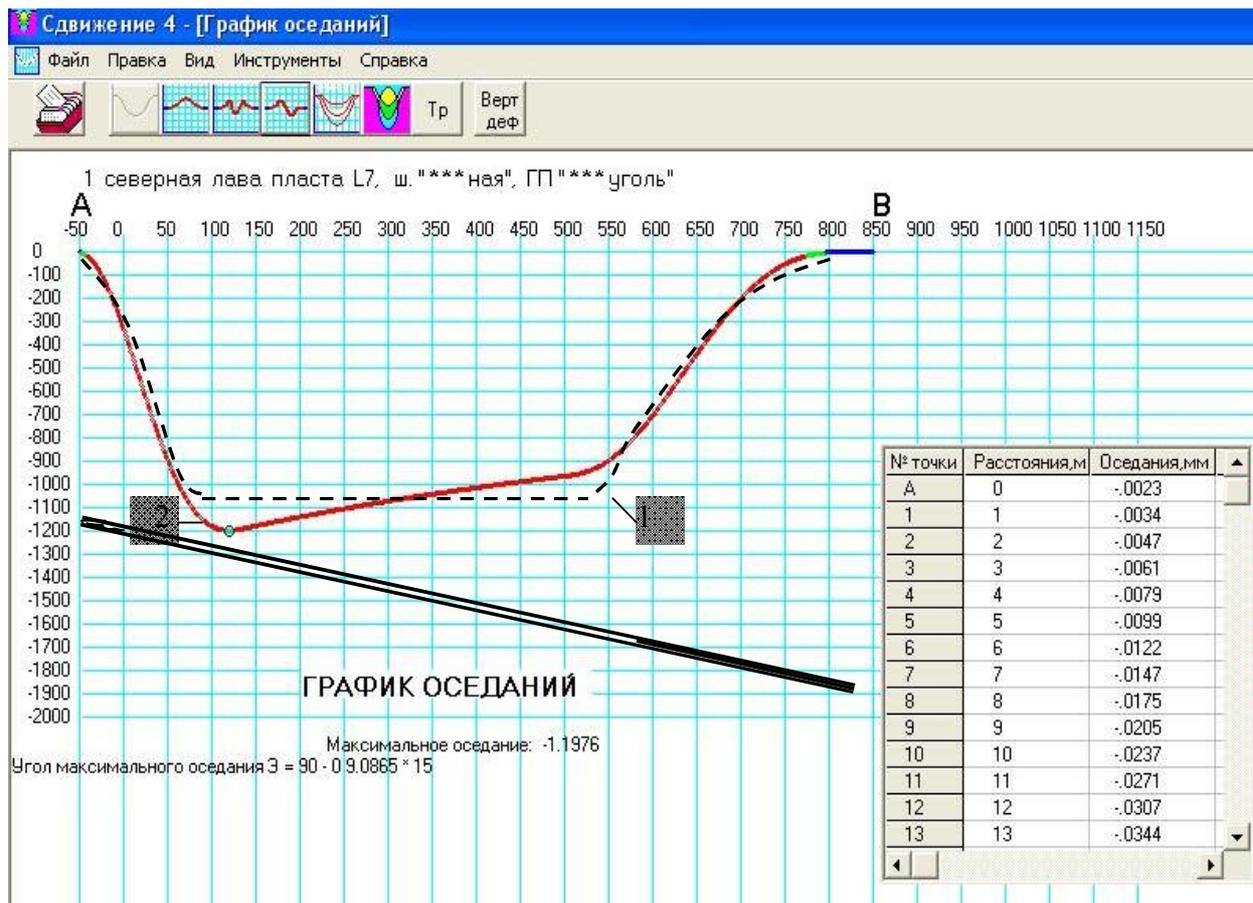


Рис. 2. Математическое моделирование формы зоны полных сдвижений в подработанном массиве горных пород.

1 – мульда сдвижения, построенная по официальной методике.

2 – результат математического моделирования.

Моделирование выполнено для следующих условий: длина лавы по простиранию 100 м, по падению – 600 м, мощность пласта 2 м, угол падения 20° , средняя глубина разработки 170 м.

Изменение величины максимальных оседаний в мульде сдвижения закономерно приводит и к изменению горизонтальных сдвижений, а также деформаций. При этом в зоне полных сдвижений наблюдается постоянный уровень горизонтальных сдвижений (рис.3) и нулевые горизонтальные деформации сжатия и растяжения (рис.3). В краевых частях мульды сдвижения возникают увеличенные горизонтальные сдвижения и деформации. Причем в части мульды по восстанию пласта их максимальные значения в несколько раз превышают аналогичные сдвижения и деформации по падению пласта. Такая закономерность проявляется и при расчетах, выполненных по официальной методике, но это вызвано только выполаживанием мульды сдвижения в части, расположенной по падению пласта. Значения деформаций, полученные при помощи математического моделирования на 30 – 50% отличаются от результатов расчетов по нормативной методике, что свидетельствует о необходимости её уточнения или применения методов математического моделирования.

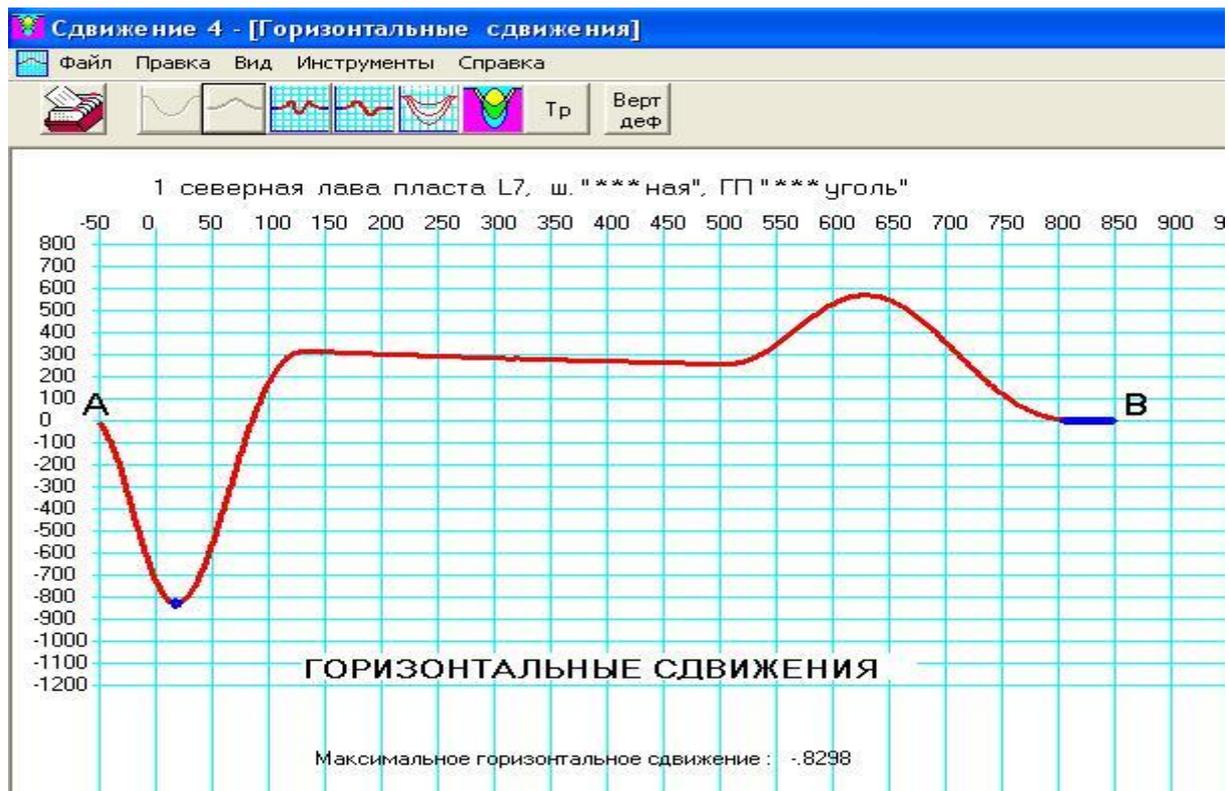


Рис. 3. График горизонтальных сдвижений..

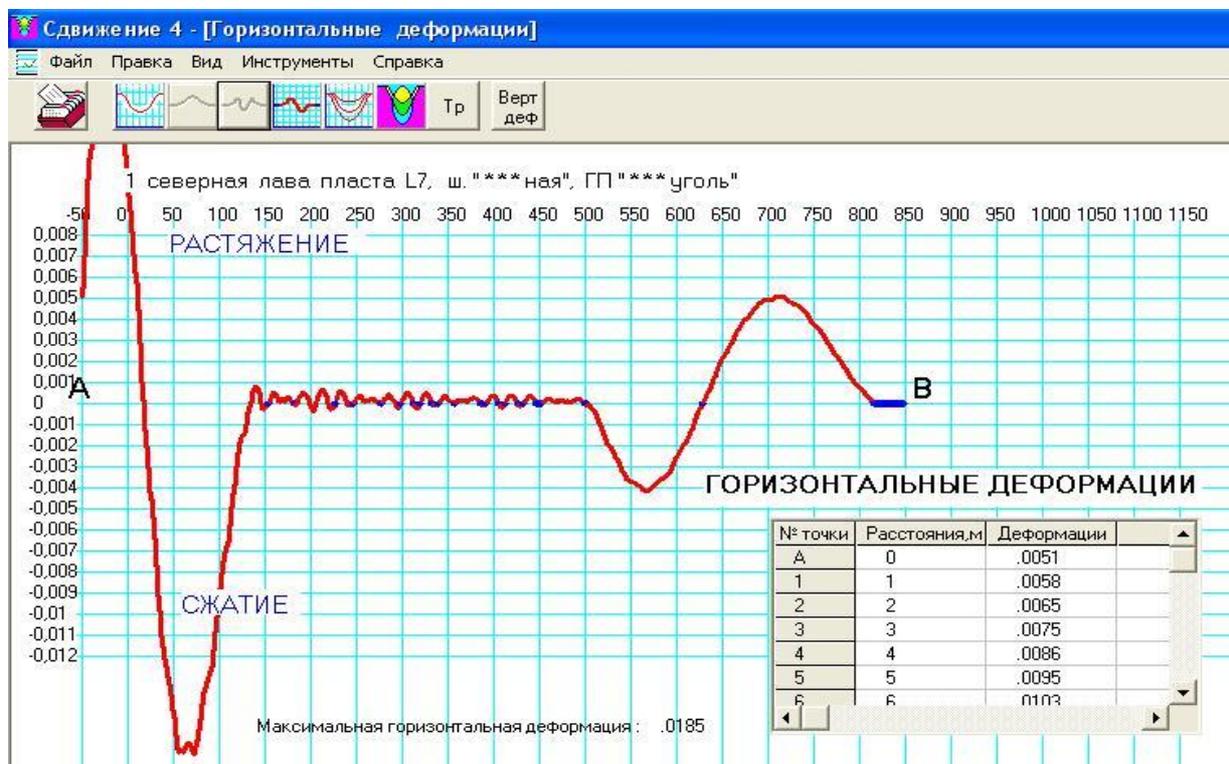


Рис. 4. График горизонтальных деформаций.

По результатам выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

- зона полных сдвижений в подработанном массиве горных пород представляет собой сложное геометрическое тело, которое на разрезах вкрест простирания и по простиранию пласта может быть аппроксимировано параболической поверхностью, с вогнутостью в сторону выработанного пространства;

- при построении мульды сдвижения необходимо учитывать не среднюю глубину разработки, а глубины всех частей разрабатываемого пласта;

- при отработке лав вкрест простирания зона полных сдвижений на земной поверхности наклонена в сторону восстания пласта;

- при выборе места расположения объектов на земной поверхности необходимо учитывать форму зоны полных сдвижений, принимая во внимание, что на границе мульды сдвижения со стороны восстания пласта возникают повышенные деформации растяжения и сжатия;

- предлагаемый метод позволяет обоснованно производить выбор места расположения объектов на земной поверхности или предусматривать соответствующие меры для их охраны.

Библиографический список:

1. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом.- Донецк: УкрНИМИ, 2004.- 127с.
2. А.Я.Мамонтов, А.С.Ведяшкин, Я.Я.Мамонтов. Расчет рационального места заложения подготовительных выработок в пластах при малой кратности их подработки // Уголь.-1991.-№6.-С.58-59.
3. Б.А.Кодунов. Метод прогнозирования сдвижений горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных месторождений // Уголь.- 1991.-№2.-С.54-56.