

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ЗОНЕ СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Рассмотрены результаты математического моделирования вертикальных деформаций горных пород. Показаны закономерности распределения вертикальных деформаций в подработанном массиве и их связь с другими видами сдвижений и деформаций.

**Ключевые слова:** зона сдвижения, вертикальные деформации, кривая оседаний

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** При ведении горных работ возникает зона сдвижения, характеризующаяся наличием в ней вертикальных и горизонтальных сдвижений и деформаций. В процессе сдвижения происходит изменение объёма пород, в результате чего образуются зоны деформаций сжатия, соответствующие зонам повышенного горного давления и зоны разрыхления горных пород, соответствующие зонам пониженных напряжений. Таким образом, процесс сдвижения горных пород тесно связан с характером перераспределения напряжений в горном массиве и определяет его напряженно - деформированное состояние, которое обязательно учитывается при выборе параметров систем разработки и технологических процессов подземных горных работ. Кроме того, для выбора мер охраны при подработке объектов, находящихся в массиве горных пород необходимо знать и уметь прогнозировать величину сдвижений и деформаций. Поэтому установление закономерностей процесса сдвижения, и на этой основе совершенствование методов прогнозирования напряженно-деформированного состояния горных пород является актуальной научной и практической задачей.

**Анализ исследований и публикаций.** Большинство исследований и публикаций по вопросам сдвижения относятся к определению оседаний, горизонтальных сдвижений, деформаций на земной поверхности. Это связано, прежде всего, с простотой выполнения наблюдений в данных условиях. Но несмотря на почти полуторавековой опыт исследований процесса сдвижения, до настоящего времени нет общепризнанной теории, описывающей данный процесс. Действующий в нашей стране нормативный документ [1] по мнению многих авторов не всегда точно позволяет выполнять прогноз сдвижений и деформаций земной поверхности. Что касается сдвижений и деформаций в толще подработанного массива горных пород, то они еще более неизучены. Наибольшего внимания по вопросам деформаций горного массива заслуживает работа [2], в которой детально рассмотрены зоны сдвижения горных пород, а также предложена методика расчета сдвижений и деформаций породной толщи. В работе [3] также содержатся методические указания по расчету сдвижений и деформаций в толще пород, но в них приведен только расчет сжатий в зоне опорного давления, не показана связь между различными видами деформаций и общая картина их распределения в подработанной зоне горных пород. Методы расчета деформаций, изложенные в работе [2] также требуют дальнейшего развития и уточнения.

**Постановка задач исследований.** Задачами данной работы являются определение закономерностей в распределении вертикальных деформаций в подработанном массиве горных пород, также связи между собой различных видов деформаций. Для решения поставленных задач используется метод компьютерного моделирования процесса перемещения породных блоков (частиц) при отработке угольного пласта.

**Изложение материала и результаты.** Для прогнозирования сдвижений и деформаций горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных месторождений автором предложен метод, сущность которого заключается в следующем [4]. Площадь обрабатываемой лавы разбивают на участки, которые после отработки инициируют возникновение эллиптических зон сдвижения пород. Породный массив представляется в виде блочной среды. Точки земной поверхности и породной толщи сдвигаются в том случае, если попадают в одну или несколько зон сдвижения (рис.1).

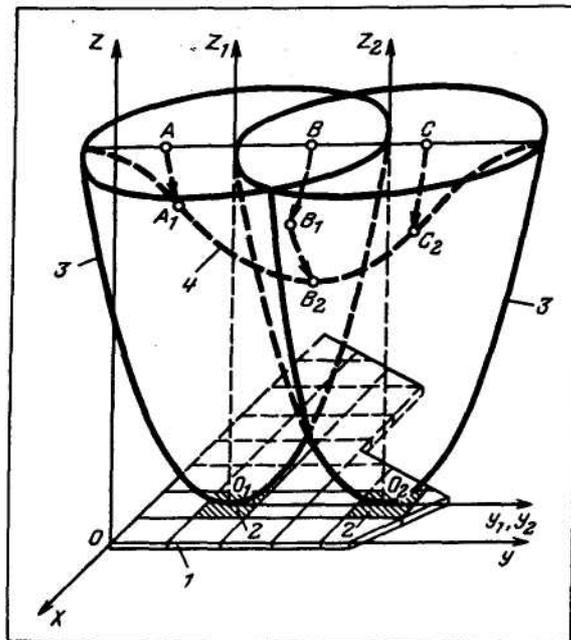


Рис.1. Схема перемещения точек в процессе сдвижения: 1 – обрабатываемый пласт; 2 – участки, инициирующие сдвижение; 3 – зоны сдвижения пород; 4 – мульда сдвижения; А, В, С – точки земной поверхности

В результате моделирования получаем координаты точек после их перемещения, что позволяет определить направление и значения векторов сдвижения.

Для идентификации разработанной математической модели выполнено сравнение результатов математического моделирования с фактическими данными и официальной методикой расчета сдвижений и деформаций земной поверхности. Также учитывалось соответствие полученных закономерностей при сдвижении массива горных пород с имеющимися исследованиями. При этом учитывались как качественные, так и количественные характеристики процесса сдвижения. Сравнение результатов математического моделирования указанным методом показало их хорошую сходимость с натурными наблюдениями в условиях изменчивой мощности пласта, сложной формы выработанного пространства, холмистом рельефе земной поверхности, для которых существующие методики неприменимы. Это позволило сделать вывод о возможности применения теоретических основ процессов перемещения дискретных породных сред под влиянием выработанного пространства для моделирования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности.

Известно, что вертикальные и горизонтальные деформации возникают вследствие неравномерности распределения в зоне подработки горизонтальных и вертикальных сдвижений (горизонтальных и вертикальных составляющих векторов сдвижения). К горизонтальным деформациям относят сжатия (растяжения) в горизонтальной плоско-

сти, а к вертикальным деформациям – наклоны интервалов и кривизну поверхности, определяемые в направлении профильной линии, то есть по горизонтали.

Для определения вертикальных растяжений (сжатий) необходимо найти оседания пород послойно. Разность оседаний точек, на границах слоя, отнесённая к толщине этого слоя даст значение вертикальной деформации.

Моделирование выполнено для следующих условий отработки:

- мощность пласта 2 м;
- горизонтальное залегание пласта;
- размеры лавы 200 м x 400 м;
- глубина разработки 600 м.

Размер выработанного пространства 400 м обеспечивал полную подработку центральной части лавы, 200 м – частичную. Толщина слоя пород для определения вертикальных растяжений (сжатий) принята 4 м.

На рис. 2 изображены вертикальные сечения по линии А – В, расположенной посередине лавы (рис. 2 а) и в целике на удалении 20 м от выработанного пространства (рис. 2 б). Расположение зон вертикальных деформаций, полученное в результате моделирования соответствует существующим представлениям, описанным в литературе. Для принятых условий (горизонтальное залегание пласта) график вертикальных деформаций симметричен относительно центра лавы, зоны сжатий расположены у краевых частей выработанного пространства, а зоны растяжений – в центральной части. Между ними – линии нулевых деформаций. Само наличие и характер расположения зон вертикальных деформаций объясняется тем, что мульды сдвижения на разной высоте от выработанного пространства имеют различные размеры в плане и форму в вертикальном сечении при одинаковом объёме. Вследствие этого вертикальные сдвигения (оседания) с удалением от выработанного пространства в центральной части уменьшаются, а на краевых частях увеличиваются, что и приводит к возникновению растяжений (сжатий) по вертикали. Разделение зон сжатий от растяжений четко прослеживается в виде линий, проходящих по точкам с нулевыми деформациями, расположенных примерно над границами выработанного пространства. Данные линии имеют выпуклость в сторону выработанного пространства и проходят через точки перегиба кривой оседаний, соответствующим нулевым значениям деформаций растяжения (сжатия), кривизны и максимальным – наклонов. Это не соответствует представлениям о расположении границы между зонами сжатия и растяжения, принятым в работе [2], где она проходит через точки с максимальной кривизной выпуклости слоёв на данном горизонте.

В направлении от пласта к земной поверхности вертикальные деформации уменьшаются, причем в интервале расстояний от пласта 10 – 100 м – в 10 раз, а от 200 – до 600 м только на 30%. Обращает на себя внимание эллиптическая форма зон вертикальных деформаций.

Установлено, что деформации растяжения (сжатия) прямо пропорционально зависят от вынимаемой мощности пласта, но результаты моделирования носят тот же качественный характер, то есть закономерности распределения деформаций сжатия и растяжения в выработанном пространстве при изменении мощности пласта не изменяются. Алгебраическая сумма деформаций сжатия и растяжения в каком либо горизонтальном сечении равна нулю.

Для установления количественных и качественных зависимостей между горизонтальными и вертикальными деформациями выполнено сравнение их графиков на различных горизонтах, при различных размерах выработанного пространства (рис. 3).

На рис. 3 а, б показаны графики горизонтальных и вертикальных деформаций в горизонтальном сечении на глубине 550 м от поверхности (50 м от пласта) при расположении профильной линии посередине лавы размером 200 x 400 м. Из графиков видно,

что они полностью идентичны, но имеют противоположные знаки. Таким образом, горизонтальное сжатие или растяжение в одном направлении соответствует такому же по величине вертикальному растяжению или сжатию. Так как профильная линия попадает в зону полных сдвижений в перпендикулярном направлении то и горизонтальные деформации по данному направлению равны нулю.

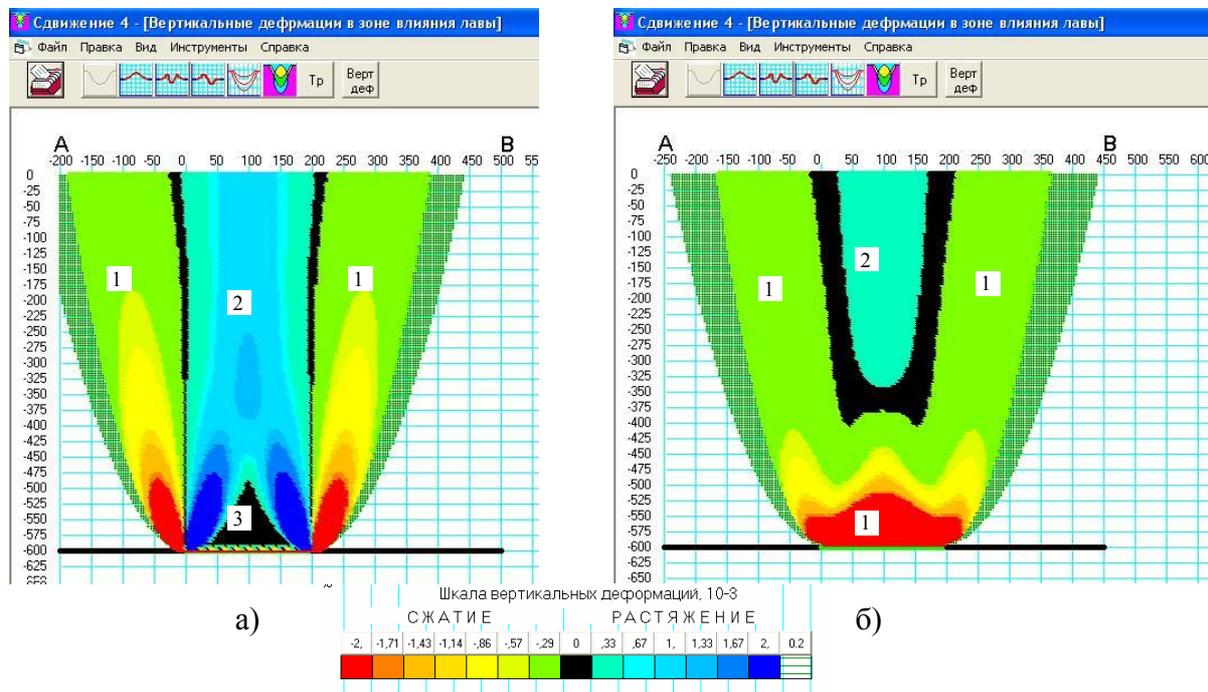
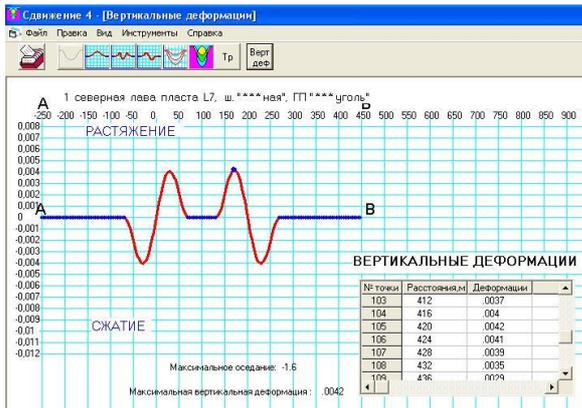


Рис. 2. Зоны вертикальных деформаций в подработанной толще горных пород: а – в главном сечении области сдвижения; б – в целике на удалении 20 м от выработанного пространства; 1 – зона сжатий; 2 – зона растяжений; 3 – зона полной подработки

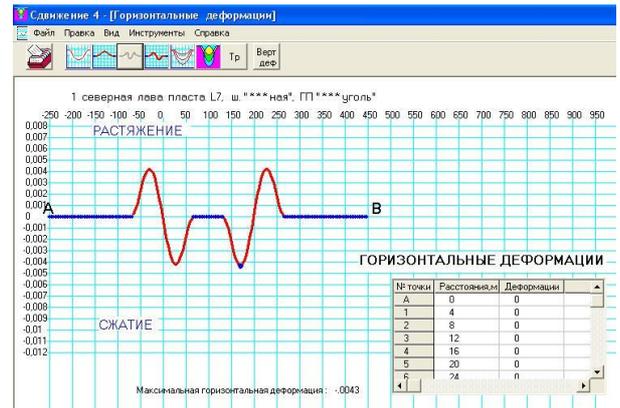
При размерах выработанного пространства меньших, чем необходимо для полной подработки, например 200 x 200 м, вертикальная деформация в данном сечении будет равна сумме двух взаимно перпендикулярных горизонтальных деформаций. Иллюстрацией этому служат графики, изображенные на рис. 3 в, г, которые соответствуют сечениям на глубине 300 м. Максимальная вертикальная деформация равна 0,0022, что в два раза больше максимальной горизонтальной деформации в одном из взаимно перпендикулярных направлений 0,0011 (график горизонтальных деформаций по второму направлению не показан).

Необходимо отметить, что полученные при моделировании величины горизонтальных деформаций породного массива в 5 – 10 раз меньше величин для земной поверхности на соответствующей глубине, что подтверждается исследованиями многих авторов. Их значения искусственно не задавались никакими условиями или коэффициентами, а компьютерное моделирование представляло собой имитацию процесса перемещения породных частиц под воздействием очистных работ.

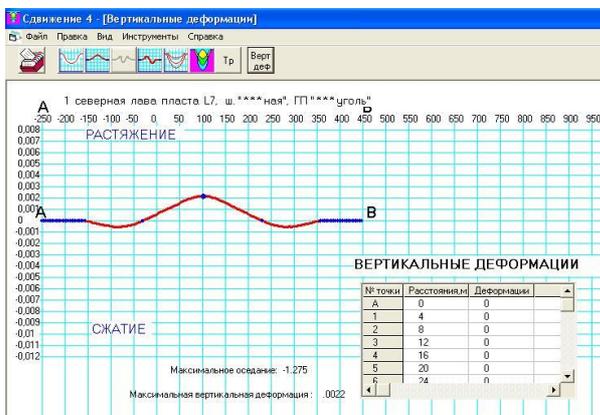
Сравнение величин вертикальных растяжений (сжатий) с другим видом вертикальных деформаций – кривизной показывает, что между ними существует линейная зависимость. Установлено, что в любом сечении по высоте значение вертикальной деформации равно значению кривизны в данной точке, умноженному на коэффициент, приблизительно равный 6,5. Установленный характер данной зависимости подтверждается исследованиями и других авторов [2]. Форма графика кривизны совпадает с формой графика вертикальных деформаций.



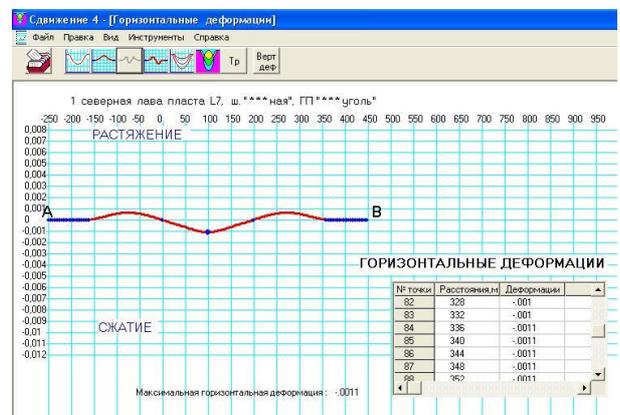
а)



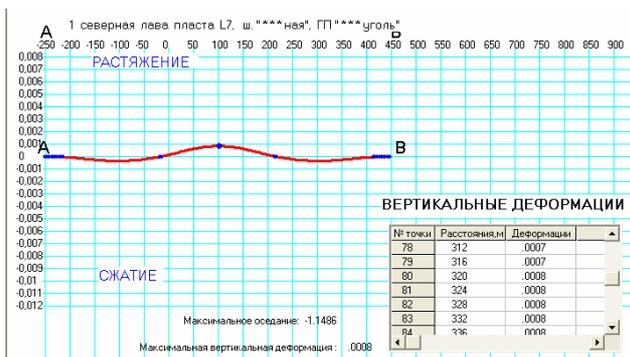
б)



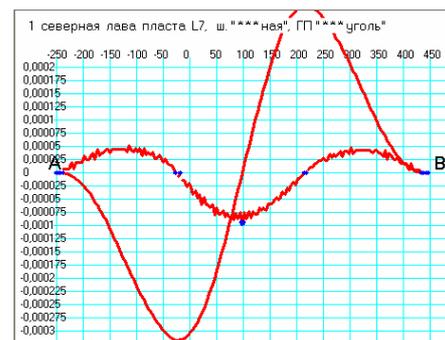
в)



г)



д)



е)

Рис. 3. Графики деформаций: а, б – при полной подработке по одному из направлений; в, г – при неполной подработке; д – вертикальные растяжения - сжатия на удалении от пласта на 600 м; е – графики наклонов и кривизны, соответствующие позиции "д"

**Выводы и направления дальнейших исследований.** В результате компьютерного моделирования процесса сдвижения массива горных пород определен характер размещения зон вертикальных сжатий и растяжений, хорошо согласующийся с ранее вы-

полненными исследованиями. Полученные закономерности распределения вертикальных деформаций растяжения (сжатия), а также их связь с другими видами деформаций подтверждаются внутренней сходимостью результатов моделирования. Предложенная модель может быть использована при выборе места расположения выработок или мер их охраны в подработанной области горных пород.

В дальнейшем планируется уточнение предложенной модели путем сравнения её с фактическими данными, полученными при ведении очистных работ.

### **Библиографический список**

1. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.001.00159226.001-2003. –Київ, 2003. С.128.
2. Земисев В.Н. Расчеты деформаций горного массива / В.Н. Земисев. – М.: Недра, 1973. – 144 с.
3. Временные указания по проектированию, строительству и эксплуатации крепи и армировки вертикальных стволов угольных шахт в условиях влияния очистных работ. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 188 с.
4. Кодунов Б.А. Метод прогнозирования сдвижений горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных месторождений/ Б.А. Кодунов // Уголь.- 1991.-№2. - С.54-56.

Розглянуто результати математичного моделювання вертикальних деформацій гірських порід. Показані закономірності розподілу вертикальних деформацій в підробленому масиві і їх зв'язок з іншими видами зрушень і деформацій.

**Ключові слова:** зона зрушення, вертикальні деформації, крива осідань

The results of mathematical design of vertical deformations of rock are considered. Are shown to conformity to the law of distributing of vertical deformations in rock after coal mining and their communication with other types of displacements and deformations.

**Keywords:** area of displacement, vertical deformations, subsidence profile

**КОДУНОВ Б.А. (канд. техн. наук, доц., КП ДонНТУ)**

**РОЗПОДІЛ ВЕРТИКАЛЬНИХ ДЕФОРМАЦІЙ У ЗОНІ ЗРУШЕННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД**

**KODUNOV B.A. (Ph.D., Assoc., КП DonNTU)**

**DISTRIBUTION OF VERTICAL DEFORMATIONS IN THE AREA OF DISPLACEMENT  
ROCK**