

Б.А. КОДУНОВ (канд. техн. наук)

А.К. НОСАЧ (канд. техн. наук)

Н.А. РЯЗАНЦЕВ (канд. техн. наук)

КИИ, Донецкий национальный технический университет

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ В ИССЛЕДОВАНИИ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ СДВИЖЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Определены основные вопросы, требующие дополнительного изучения с целью получения достоверной картины процесса сдвижения горных пород и земной поверхности. Рассмотрены результаты математического моделирования и опыта ведения горных работ при прогнозировании сдвижений и деформаций в условиях Донбасса.

Ключевые слова: область сдвижения, максимальные оседания, мульда сдвижения, кривая оседаний, вертикальные деформации, зона полных сдвижений, углы сдвижения.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Сдвижение горных пород представляет собой их перемещение и деформирование в результате нарушения равновесия под влиянием горных разработок. 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 большинства технологических процессов подземных горных работ. Кроме того, для выбора мер охраны при подработке объектов, находящихся на земной поверхности или в массиве горных пород необходимо знать характер процесса сдвижения и уметь прогнозировать сдвижения и деформации. Поэтому установление закономерностей процесса сдвижения, совершенствование методов прогнозирования напряженно-деформированного состояния горных пород и земной поверхности является актуальной научной и практической задачей.

Анализ исследований и публикаций. Официальным методом прогнозирования сдвижений и деформаций земной поверхности в нашей стране является метод типовых кривых, основанный на использовании данных натуральных измерений, по которым строятся кривые сдвижений и деформаций [1].

При всех своих достоинствах, среди которых главное – использование фактических данных, полученных в результате проведения большого количества наблюдений за процессом сдвижения, данный метод не свободен и от недостатков, которые вызваны, в основном, необходимостью упрощения и обобщения методов расчета сдвижений и деформаций, что часто препятствует получению достоверной информации применительно к конкретным, часто нетипичным условиям.

Особенности сдвижения горных пород и земной поверхности проявляются при сравнении официальных методик предрасчета с результатами натуральных наблюдений за деформациями и сдвижениями при разработке угольных месторождений, а также с результатами моделирования сдвижений и деформаций породного массива и земной поверхности для заданных условий. При этом нередко выявляются несоответствия между результатами, полученными согласно нормативным документам или научным рекомендациям и фактическим результатам.

Постановка задач исследований. К недостаточно исследованным вопросам процесса сдвижения горных пород и земной поверхности можно отнести следующие:

1. Максимальные оседания в мульде сдвижения.
2. Распределение деформаций в области влияния очистного забоя.
3. Расположение и форма зоны полных сдвижений.
4. Особенности сдвижений и деформаций в области полных сдвижений.
5. Закономерности изменения сдвижений и деформаций при изменении параметров очистного забоя.
6. Значения углов: сдвижения, граничных, полных сдвижений.
7. Установление расположения характерных точек мульды сдвижения, например точки перегиба кривой оседаний.
8. Связь между деформациями, полученными при сдвижении горных пород и напряженно-деформированным состоянием горного массива.

Полный перечень вопросов, требующих дополнительного исследования определить невозможно, так как они закономерно возникают по мере изучения процесса сдвижения.

В рамках данной статьи рассмотрены некоторые из поставленных вопросов.

Изложение материала и результаты. Выполненные исследования [2] позволили разработать математическую модель и на её основе составить программу предрасчета сдвижений и деформаций массива горных пород и земной поверхности, основанную на представлении массива горных пород в виде дискретной слоистой среды блочной структуры. В результате моделирования частицы (участки) горных пород или земной поверхности перемещаются, образуя векторы сдвижений. По направлению и величине данных векторов можно судить об изменениях в положении исходной линии или поверхности и соответствующих деформациях, вызванных этими изменениями.

Рассмотрим указанные выше вопросы, используя метод компьютерного моделирования при условии, что он учитывает всё многообразие факторов, влияющих на процесс сдвижения и подтверждается данными натурных измерений.

Максимальные оседания в мульде сдвижения

В процессе сдвижения пород под влиянием подземных разработок происходит их перемещение, в результате чего на земной поверхности образуется мульда сдвижения, одним из основных параметров которой является максимальное оседание. С данным параметром связаны все сдвижения и деформации в мульде сдвижения.

Максимальные оседания в мульде сдвижения согласно официальной методике [1] зависят от степени подработанности массива горных пород, определяемой отношением размеров выработанного пространства к глубине разработки.

Графики зависимости относительного максимального оседания (отношения максимального оседания к мощности пласта) от безразмерной величины – отношения размеров выработанного пространства к глубине разработки считаются своеобразным паспортом процесса сдвижения для определённых горногеологических условий.

В работе [3] приведены результаты исследований изменения максимального оседания при формировании мульды сдвижения в зависимости от соотношения размеров лавы и глубины разработки для условий Западного Донбасса. По фактическим данным построена кривая зависимости между относительным максимальным оседанием и отношением размеров выработки к глубине. При сравнении данной зависимости с графиками, построенными по официальной методике, сделан вывод об их несоответствии.

Для проверки данных результатов выполнено компьютерное моделирование процесса отработки лавы и получены графики зависимости относительного максимального оседания – отношения максимального оседания к мощности пласта η_m/m от отношения размеров лавы по простиранию к глубине разработки D/H [5], (рис.1.).

Сравнение графиков, построенных по фактическим данным и с помощью компьютерного моделирования, показывает их полную сходимость, что позволяет сделать

вывод о возможности применения разработанной математической модели процесса сдвижения горных пород и земной поверхности для прогнозирования ожидаемых максимальных оседаний земной поверхности.

В процессе моделирования отмечено, что при увеличении глубины разработки при постоянном отношении D/H увеличивалось относительное максимальное оседание η_m/m , что делало невозможным определить универсальную зависимость между этими параметрами даже для постоянных горногеологических условий (рис. 2).

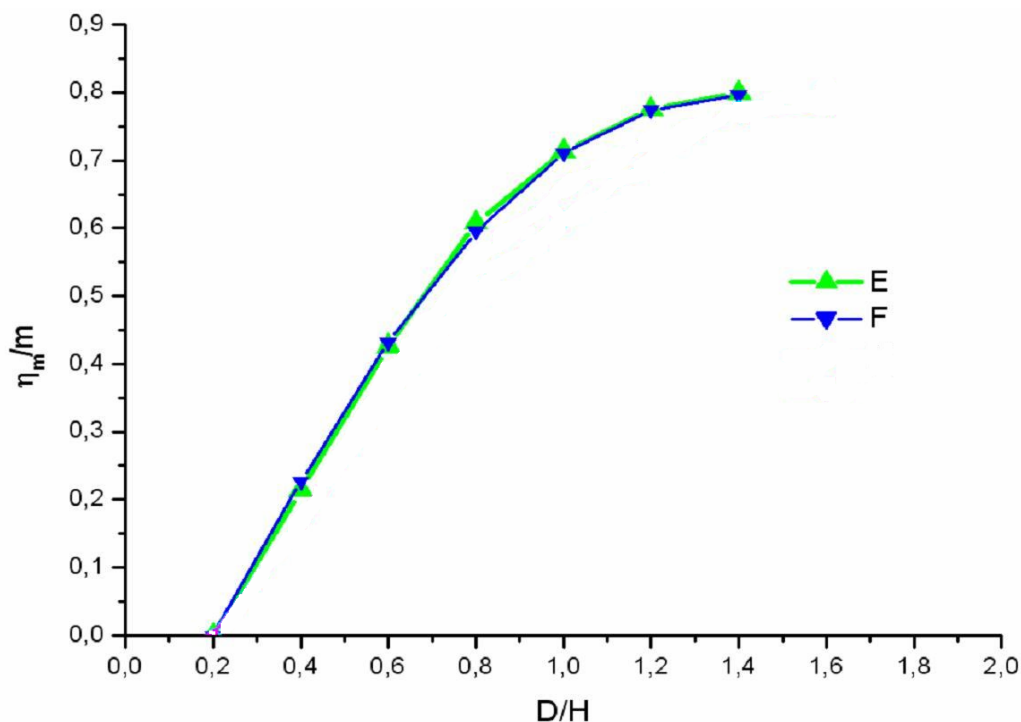


Рис. 1. Сравнение графиков, полученных по результатам натуральных измерений и при компьютерном моделировании: E – по данным натуральных наблюдений [3]; F – компьютерное моделирование.

Из этого следует, что для определённой глубины разработки существует своя зависимость η_m/m от D/H .

В действующем нормативном документе [1] введены поправки к D/H в зависимости от глубины разработки, но по нашему мнению они недостаточно учитывают данную особенность.

Исходя из приведенных результатов, можно сделать вывод о том, что максимальное оседание зависит от размеров выработанного пространства по двум направлениям (простираение и падение), а также от глубины разработки.

Безразмерное отношение размеров выработанного пространства к глубине разработки D/H не может служить единственным аргументом для определения относительного максимального оседания η_m/m .

Зависимость относительного максимального оседания от совокупности влияющих факторов для одинаковых горногеологических условий имеет вид

$$\frac{\eta_m}{m} = f(D_1, D_2, H) \quad (1)$$

или

$$\frac{\eta_m}{m} = f(D, H) \quad (2)$$

где η_m – максимальное оседание; m – вынимаемая мощность разрабатываемого пласта; η_m/m – относительное максимальное оседание; D_1 – размер выработанного пространства по падению пласта; D_2 – размер выработанного пространства по простиранию пласта; $D = D_1$ при $D_2/H > 1,4$ или $D = D_2$ при $D_1/H > 1,4$ (условие полной подработки по простиранию или падению пласта); H – глубина разработки пласта.

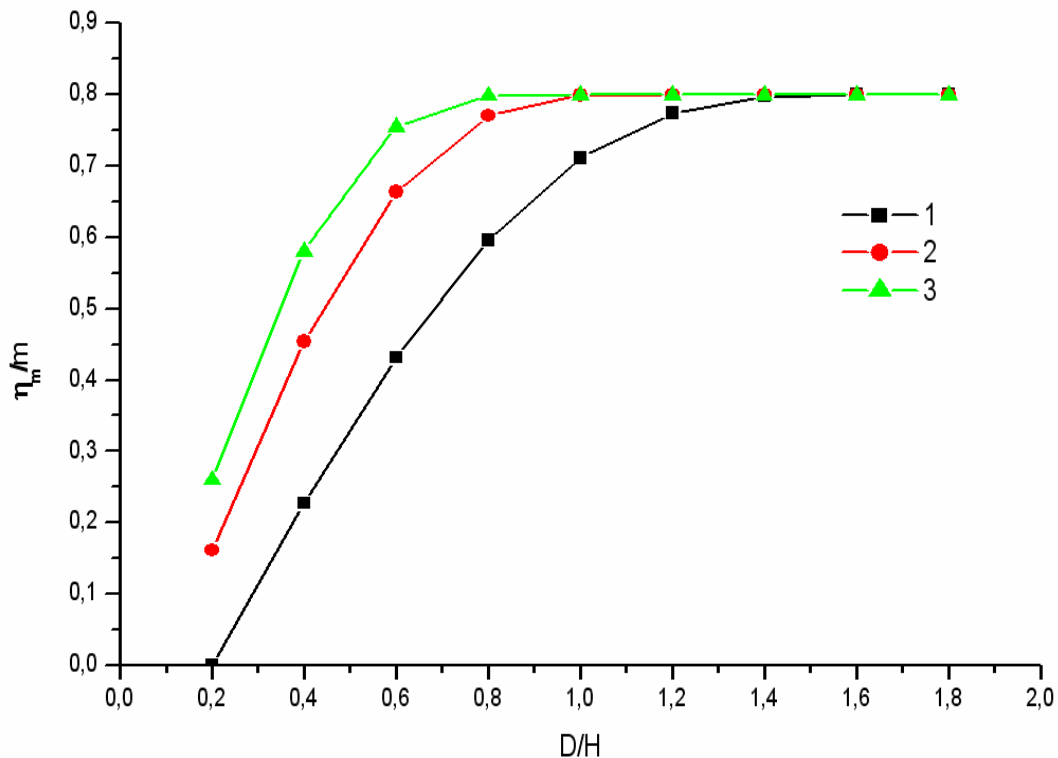


Рис. 2. Графики изменения относительного максимального оседания η_m/m в зависимости от отношение размеров выработанного пространства к глубине разработки D/H при различной глубине разработки: 1, 2, 3 – соответственно для глубины H , равной 200 м; 400 м; 600 м.

Таким образом, моделирование процесса сдвижения горных пород и земной поверхности, позволило установить, что максимальное оседание зависит не только от отношения размеров выработанного пространства к глубине разработки, но и от глубины разработки. Данное обстоятельство требует дальнейшего изучения условий и закономерностей, определяющих значение максимального оседания в мульде сдвижения.

Распределение деформаций в области влияния очистного забоя

При ведении горных работ возникает область сдвижения, характеризующаяся наличием в ней вертикальных и горизонтальных сдвижений и деформаций.

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

Все указанные сдвижения и деформации рассчитывают для земной поверхности.

Для массива горных пород методы расчета сдвижений и деформаций практически не разработаны. Особенностью сдвижения массива горных пород является наличие вертикальных растяжений-сжатий. Деформации растяжения (сжатия) в вертикальном направлении в литературе практически не рассматриваются, хотя они имеют прямую связь с зонами разгрузки и повышенного горного давления, что свидетельствует об актуальности их изучения.

Для определения вертикальных растяжений (сжатий) необходимо знать оседания пород послойно. Разность оседаний точек, на границах слоя, отнесённая к толщине этого слоя даст значение вертикальной деформации. В результате компьютерного моделирования [6] установлено, что при горизонтальном расположении угольного пласта график вертикальных деформаций симметричен относительно центра лавы, зоны сжатий расположены у краевых частей выработанного пространства, а зоны растяжений – в центральной части. При наклонном залегании пласта зоны растяжений находятся в верхней части лавы, а зоны сжатий – в нижней. С увеличением угла падения вертикальные деформации с максимальным значением занимают большую площадь выработанного пространства (рис.3).

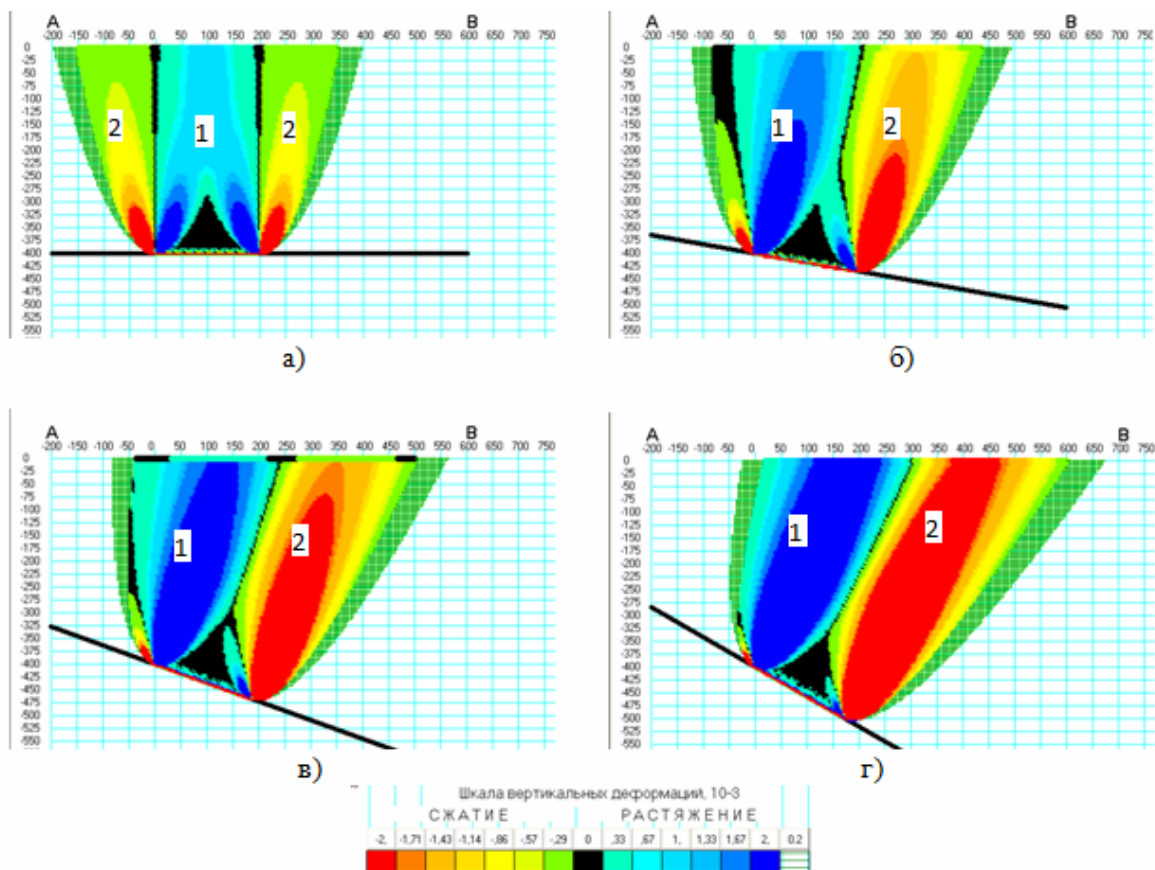


Рис.3. Зоны вертикальных деформаций при углах падения пласта:
 а) – 0° ; б) – 10° ; в) – 20° ; г) – 30° ; 1, 2 – соответственно вертикальные растяжения и сжатия.

Это можно объяснить тем, что при наклонном расположении пласта мульда сдвижения выполаживается в сторону падения и меняется направление векторов сдвижения. Само наличие и характер расположения зон вертикальных деформаций также объясняется тем, что мульды сдвижения на разной высоте от выработанного пространства имеют различные размеры в плане, но одинаковый объём, поэтому вертикальные сдви-

жения с удалением от выработанного пространства в центральной части (при горизонтальном залегании) уменьшаются, а на краевых частях увеличиваются.

Вышеизложенное позволяет сделать следующие выводы:

- зоны вертикальных деформаций в подработанном массиве горных пород представляет собой сложные геометрические тела, приближающиеся по форме к эллипсоидам;

- при увеличении наклона пласта в верхней краевой части выработанного пространства образуется зона вертикальных растяжений, а в нижней краевой части – зона вертикальных сжатий пород.

Данные выводы не охватывают всех особенностей образования и развития вертикальных деформаций, а также их связь с напряженно-деформированным состоянием массива горных пород, что свидетельствует о необходимости дальнейшего изучения данного вопроса.

Расположение и форма зоны полных сдвижений

Зона полных сдвижений в принятой терминологии и классификации зон сдвижений находится в подработанной части горного массива и располагается непосредственно над выработанным пространством выше зоны обрушения. 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, 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 планировании горных работ может возникнуть задача проведения горных выработок в подработанном массиве горных пород. От правильного выбора места расположения горной выработки будут зависеть условия её эксплуатации. Наиболее приемлемым является расположение горных выработок в зоне, где отсутствуют деформации горных пород, то есть в зоне полных сдвижений. Аналогичная задача возникает при проектировании, строительстве или охране здания (сооружения) на земной поверхности. В связи с этим определение границ данной зоны является актуальной задачей.

На рисунке 4 показаны три варианта расположения горных выработок в подработанном массиве горных пород.

1 – выработка расположена в зоне полных сдвижений (отсутствия деформаций), построенной согласно рекомендациям данной статьи.

2 – выработка расположена согласно методике ВНИМИ [4]. В этом случае выработка будет находиться в зоне изгиба горных пород и подвергаться деформациям горизонтальных сжатий и вертикальных растяжений.

3 – выработка расположена в зоне, построенной по углам полных сдвижений. В данном варианте, с учетом её расположения на небольшом удалении от отработанного пласта, на выработку будут действовать повышенные напряжения, вызванные горизонтальными сжатиями и вертикальными растяжениями.

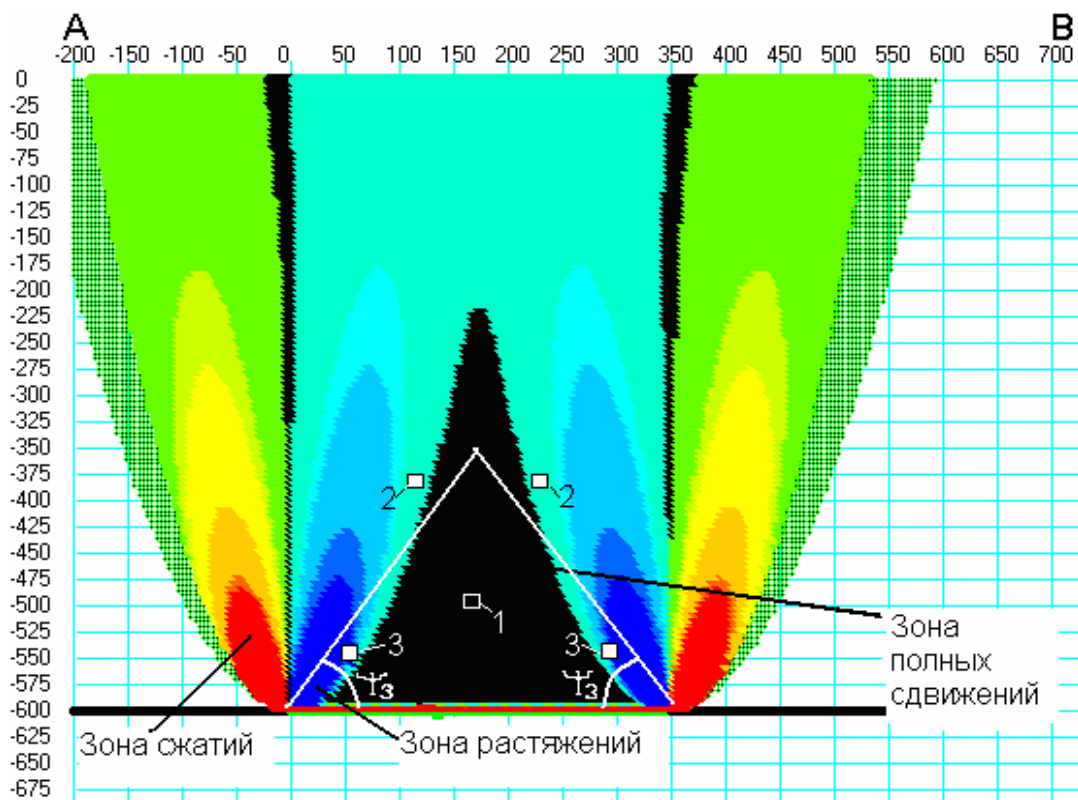


Рис. 4. Математическое моделирование формы зоны полных сдвижений в подработанном массиве горных пород.

Выполненные исследования [7] позволяют 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;

- параметры параболической поверхности, ограничивающей зону полных сдвижений зависят от степени разделения породного массива на блоки, что в свою очередь связано с крепостью горных пород и величиной шага обрушения основной кровли отработываемого пласта;

- при выборе места расположения выработок в подработанном массиве горных пород необходимо учитывать форму зоны полных сдвижений, принимая во внимание, что на её границах, особенно на небольшом удалении от пласта имеют место повышенные напряжения, связанные с деформациями растяжения и сжатия;

- предлагаемый метод позволяет обоснованно производить выбор места расположения выработок в подработанном массиве горных пород и на земной поверхности.

В связи с важностью рассматриваемого вопроса рекомендуется проведение дополнительных исследований.

Значения углов: сдвижения, граничных, полных сдвижений

Исторически изучение процесса сдвижения горных пород под влиянием подземных разработок начиналось с определения углов сдвижения, так как с их помощью определялись предполагаемые границы влияния горных работ на земную поверхность и устанавливалась зона ответственности горного предприятия или принимались меры охраны объекта на поверхности. Значения углов сдвижения устанавливались по факту, после подработки земной поверхности. Затем полученные величины экстраполировались на другие участки месторождения.

К сожалению, с начала изучения процесса сдвижения горных пород (с 19 века) до настоящего времени существенных изменений в плане определения с математической или физической стороны значений углов сдвижения не произошло. Существуют установленные в нормативных документах значения углов сдвижения, а также граничных, полных сдвижений, которые получены как средние результаты из многочисленных наблюдений за сдвижением земной поверхности в определённом угольном бассейне или его части. Основная часть наблюдений производилась в 60 – 70-х годах прошлого века, когда глубина разработки угольных пластов, в основном, находилась в районе 200 – 300 м. Хотя все ученые сходились во мнении о том, что углы сдвижения имеют только локальное значение, то есть определяют точку сдвижения на земной поверхности для определённого очистного забоя и глубины разработки, в нормативные документы по предрасчёту сдвижений вошли четко фиксированные значения углов сдвижения вне зависимости от глубины разработки очистных забоев. В связи с этим начали возникать ошибки и неточности в определении границ влияния очистных выработок как со стороны выработанного пространства (определение границ зоны полных сдвижений), так и со стороны массива горных пород (граничные углы, и углы сдвижений).

Предлагаемый метод определения границ зон влияния очистных работ основывается на положении о блочно – слоистой структуре массива горных пород [8], (рис. 5).

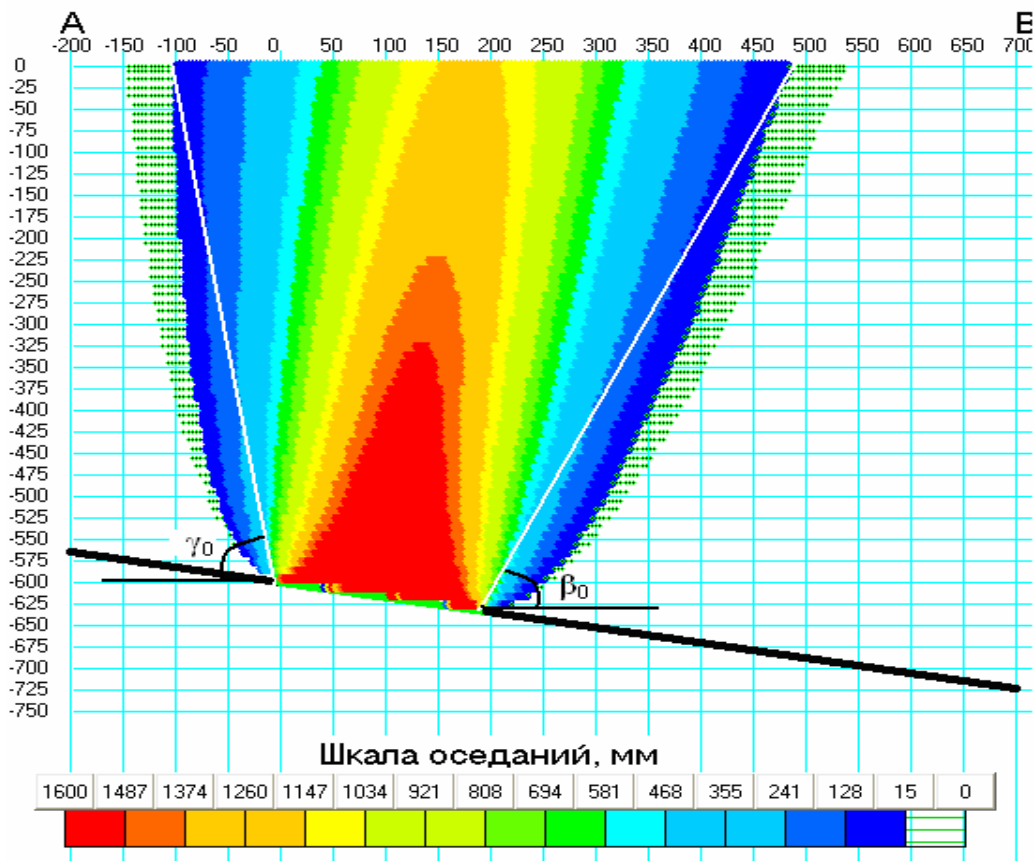


Рис. 5. Распределение оседаний в области влияния лавы: γ_0 , β_0 – граничные углы.

В этом случае для моделирования перемещений блоков массива применяются закономерности перемещений частиц сыпучей среды. Результаты математического моделирования по выбранной схеме хорошо согласуются с фактическими данными. Более того, с помощью компьютерного моделирования удаётся находить новые закономерности в процессе развития сдвижения горных пород и земной поверхности. Область влияния выработанного пространства, а также отдельные зоны сдвижений представляются в

виде объёмов, ограниченных эллиптическими или параболическими поверхностями, которые имеют реальный физический смысл, в отличие от условного положения линий, образующих углы сдвижения.

Выводы и направления дальнейших исследований. Существующие методы прогнозирования сдвижений и деформаций горных пород и земной поверхности недостаточно точно учитывают совокупность факторов, влияющих на данный процесс. Полученные результаты в этом случае отличаются от реальных, что требует проведения дополнительных исследований.

Математическое моделирование процесса сдвижения горных пород и земной поверхности позволяет учесть многие горногеологические и горнотехнические условия, повышая точность предрасчета сдвижений и деформаций.

Библиографический список

1. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.001.00159226.001-2003. –Київ, 2003.-128 с.
2. 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.
3. Бака Н.Т. Графоаналитическое описание максимальных оседаний при формировании мульды сдвижения / Н.Т. Бакка, В.А. Назаренко, А.С. Кучин, Н.С. Кашина // Науковий вісник Національного гірничого університету.-2006.-№9.-С. 3-6.
4. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР.- Л: ВНИМИ, 1986.- 220 с.
5. Кодунов Б.А. Зависимость максимальных оседаний земной поверхности от размеров лавы и глубины разработки / Б.А. Кодунов // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. – 2011. - №1. – С. 3 – 8.
6. Кодунов Б.А. Распределение вертикальных деформаций в зоне сдвижения горных пород / Б.А. Кодунов // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. – 2010. - №2. – С. 11 – 16.
7. Кодунов Б.А. Определение границ зоны полных сдвижений в подработанном массиве горных пород / Б.А. Кодунов, А.К. Носач, И.М. Жимчича // Матеріали регіональної науково-практичної конференції, Красноармійський індустріальний інститут ДонНТУ, 28 листопада 2008 р. – Донецьк: ООО "Цифровая типография", 2008. – С. 61- 64.
8. Кодунов Б.А. Математическое моделирование процесса сдвижения и деформирования горных пород и земной поверхности под влиянием подземной разработки / Б.А. Кодунов // Матеріали регіональної науково-практичної конференції, Красноармійський індустріальний інститут ДонНТУ, 28 листопада 2008 р. – Донецьк: ООО "Цифровая типография", 2008. – С. 56 - 61.

Б.О. Кодунов, О.К. Носач, М.О. Рязанцев

Визначені основні питання, що вимагають додаткового вивчення з метою отримання достовірної картини процесу зрушення гірських порід і земної поверхні. Розглянуто результати математичного моделювання і досвіду ведення гірничих робіт при прогнозуванні зрушень і деформацій в умовах Донбасу.

Ключові слова: область зрушення, максимальні осідання, мульда зрушення, крива осідань, вертикальні деформації, зона повних зрушень, кути зрушень.

В.А. Kodunov, А.К. Nosach, N.A. Rjazzantsev

Basic questions requiring an additional study with the purpose of receipt of reliable picture of rock displacement are definite. The results of mathematical design and experience of the mining to prediction subsidence in the conditions of Donbas coalfield are considered.

Keywords: area of displacement, maximum subsidence, subsidence trough, subsidence profile, vertical deformations, supercritical subsidence area, angle of draw.