

УДК 622.83

Б.А. КОДУНОВ (канд. техн. наук)

Донецкий национальный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК ПЕРЕГИБА КРИВОЙ ОСЕДАНИЙ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В статье приведены результаты компьютерного моделирования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при отработке угольных пластов для условий Донбасса с целью установления закономерностей в расположении точек перегиба кривой оседаний. Выполнено сравнение полученных результатов с существующими аналитическими методами.

Ключевые слова: область сдвижения, мульда сдвижения, кривая оседаний, деформации, точка перегиба кривой оседаний.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Очистные работы приводят к возникновению области сдвижения, распространяющейся в направлении к земной поверхности. В результате этого в толще горных пород происходит перемещение и изгиб слоев, а на земной поверхности образуется впадина, называемая мульдой сдвижения. При образовании мульды породы перемешаются и деформируются. Для количественного описания степени перемещений и деформаций пород в мульде сдвижения используют следующие параметры: вертикальные оседания; горизонтальные сдвижения; горизонтальные и вертикальные деформации растяжения – сжатия; деформации наклонов и кривизны. Из уравнения кривой оседаний можно установить значения вертикальных оседаний, наклонов, кривизны. Горизонтальные сдвижения и деформации определяются на основе закономерностей распределения наклонов и кривизны в мульде сдвижения. Важной характеристикой кривой оседаний является расположение точек её перегиба, так как в них возникают максимальные горизонтальные сдвижения и наклоны, а также минимальные горизонтальные деформации и кривизна. Кроме того, данные точки четко и однозначно определяют пространственное расположение мульды сдвижения. Таким образом, зная расположение точек перегиба кривой оседаний, можно повысить точность предрасчета сдвижений и деформаций, что имеет большое научное и практическое значение для прогнозирования процесса сдвижения и выбора мер охраны подрабатываемых объектов.

Анализ исследований и публикаций. В связи с особой важностью вопроса определения зависимости, описывающую форму мульды сдвижения ему посвящено множество работ. Можно сказать, что ни одно серьезное научное исследование, касающееся сдвижения горных пород и земной поверхности, данный вопрос не оставило без внимания. В тоже время единого общепризнанного метода и математической зависимости, описывающей форму и размеры мульды сдвижения, не существует, что предопределяет необходимость дальнейших исследований.

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. Задачей данной работы является установление закономерностей в расположении точек перегиба кривой оседаний с целью уточнения её формы в подработанном массиве горных пород и на земной поверхности. Для решения поставленной задачи используется метод математического анализа, а также компьютерное моделирование процесса перемещения породных блоков (частиц) при отработке угольного пласта.

Изложение материала и результаты.

Большинство исследователей сходятся во мнении, что для описания формы мульды сдвижения наиболее подходит кривая нормального распределения Гаусса. Она служит основой для построения типовых кривых, по которым выполняют прогноз сдвижений и деформаций земной поверхности согласно действующему в нашей стране нормативному документу [1]. Оседания и деформации любой точки описываются выражениями [2]

$$\eta_x = \frac{1}{2}\eta_0\Phi\left(\frac{S_2}{CH}\right)\left[\Phi\left(\frac{S_1+x}{CH}\right) + \Phi\left(\frac{S_1-x}{CH}\right)\right]; \quad (1)$$

$$i_x = \eta'_x; \quad (2)$$

$$k_x = \eta''_x; \quad (3)$$

$$\xi_x = K_n\eta'_x; \quad (4)$$

$$\varepsilon_x = K_n\eta''_x; \quad (5)$$

где $\eta_x, i_x, k_x, \xi_x, \varepsilon_x$ – оседание, наклон, кривизна, горизонтальное сдвижение, горизонтальная деформация в точке с абсциссой x (начало координат в точке максимального оседания);

η_0 – максимальное оседание земной поверхности при полной подработке;

η'_x, η''_x – первая и вторая производные от η_x ;

S_1, S_2 – приведенные размеры выработки по падению и простиранию пласта;

C, K_n – коэффициенты, зависящие от свойств горных пород;

H – глубина разработки.

Φ – функция интеграла вероятностей (функция Гаусса).

$$\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-z^2/2} dz; \quad (6)$$

Для локализации мульды сдвижения необходимо определить ее характерные точки. Согласно официально принятой методике прогнозирования сдвижений и деформаций такими точками являются границы мульды сдвижения и точка максимального оседания. Однако границы мульды сдвижения, описываемой кривой Гаусса, уходят в бесконечность. В связи с этим для определения условных границ мульды сдвижения нормативными документами установлены граничные значения сдвижений и деформаций [1].

Другими характерными точками мульды сдвижения могут служить точки перегиба кривой, соответствующие максимальному значению первой производной и нулевому значению второй производной её уравнения. Из выражений (2) и (3), можно определить, что в точках перегиба кривой оседаний будут иметь место максимальные наклоны и нулевая кривизна. Кроме того, из выражений (4) и (5) следует, что в этих точках будут максимальные горизонтальные сдвижения и нулевые горизонтальные деформации растяжения-сжатия. Использование точек перегиба кривой оседаний в качестве опорных может помочь избежать некоторой сложности и неоднозначности, возникающей в случае использования условных границ мульды.

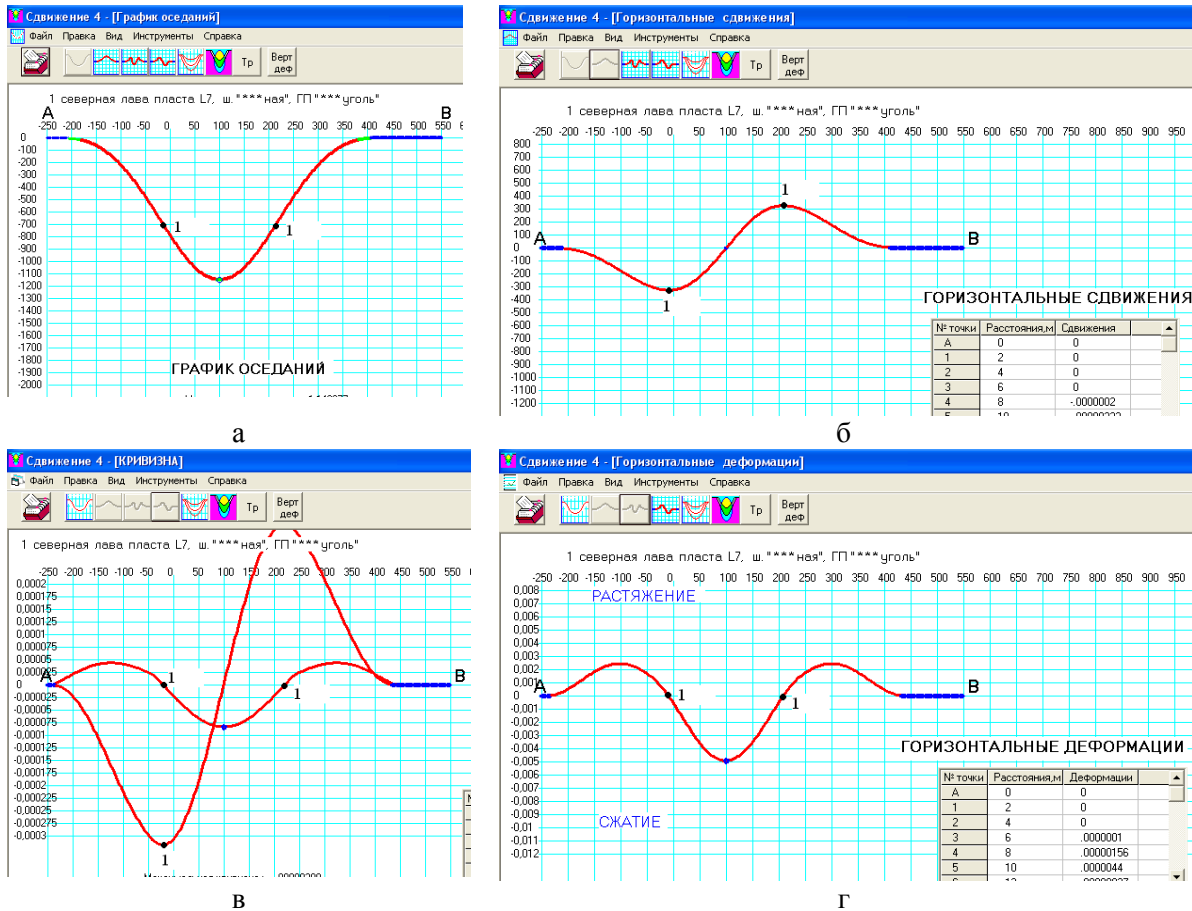


Рис. 1. Графики сдвижений и деформаций по результатам компьютерного моделирования процесса сдвижения: 1 – точки перегиба кривой оседаний на графиках: а – кривой оседаний; б – горизонтальных сдвижений; в – наклонов и кривизны; г – горизонтальных деформаций.

Выполненные исследования [3] 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.

На рисунке 1 показаны графики сдвижений и деформаций, полученные методом компьютерного моделирования.

Предыдущими исследованиями установлено, что точки перегиба кривой оседаний при полной подработке находятся над границами выработанного пространства, а с увеличением глубины разработки или уменьшении размеров выработанного пространства, то есть с уменьшением степени подработанности, положение этих точек смещается в сторону массива. В известных публикациях эту зависимость связывают с безразмерным отношением размеров выработанного пространства D к глубине разработки H , (D/H). Эта зависимость носит сложный характер. В этом случае может быть использовано компьютерное моделирование процесса сдвижения.

На рис. 2 показан вертикальный разрез области сдвижения горных пород, на котором четко прослеживаются линии, соответствующие расположению точек перегиба кривой оседаний на различной глубине.

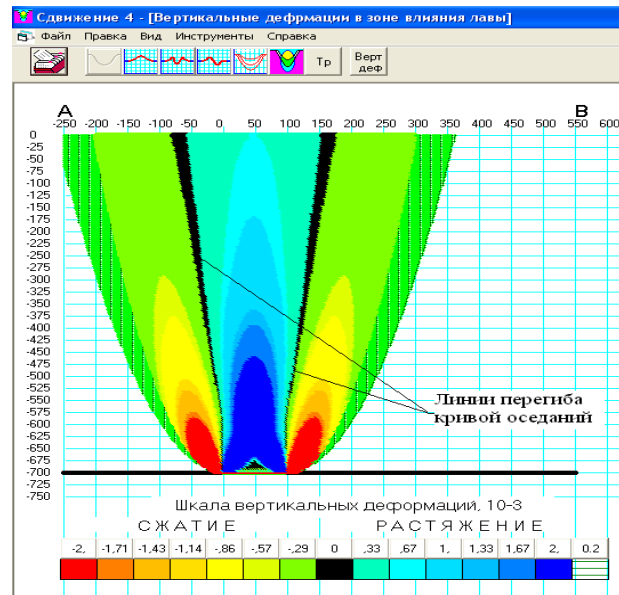


Рис. 2. Расположение точек перегиба кривой оседаний на различной глубине.

В процессе моделирования отмечено, что при увеличении глубины разработки H для различных значений размеров выработанного пространства D при постоянном отношении D/H увеличивалось горизонтальное расстояние L от точки перегиба до границ выработанного пространства, что делало невозможным определить универсальную зависимость между этими параметрами даже для постоянных горно-геологических условий.

В работе [4] рассмотрен аналитический метод определения точек расположения максимальных наклонов, в котором раздельно учитываются параметры D и H .

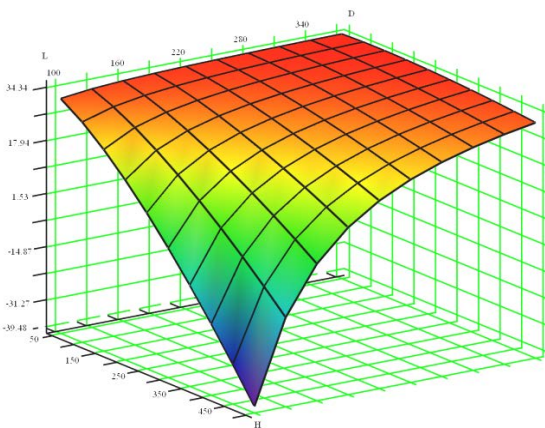


Рис. 3. График изменения положения точек перегиба кривой оседаний L в зависимости от размеров выработанного пространства D и глубины разработки H (построение выполнено для горизонтального пласта по выражению, приведенному в работе [4]).

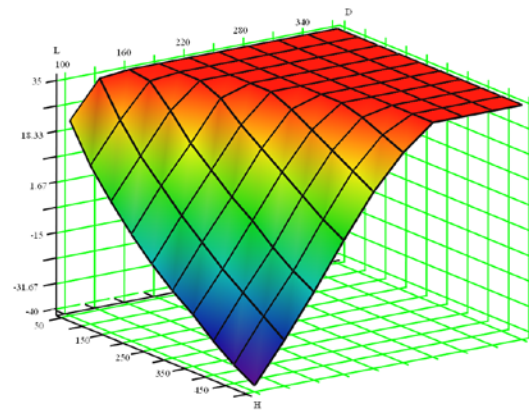


Рис. 4. График изменения положения точек перегиба кривой оседаний L в зависимости от размеров выработанного пространства D и глубины разработки H . (построение выполнено по данным компьютерного моделирования).

На рис. 3 показан трехмерный график зависимости расстояния L от границ выработанного пространства в горизонтальном направлении до точек с максимальными наклонами от размеров выработанного пространства D и глубины разработки H , построенный по аналитическому выражению [4]. На рис. 4 показан график той же зависимости, полученный при помощи компьютерного моделирования. Сравнивая приведенные графики можно отметить их сходство как в качественном, так и в количественном отношениях.

Выводы и направления дальнейших исследований.

Компьютерное моделирование процесса сдвижения горных пород и земной поверхности, позволило установить, что положение точек перегиба кривой оседаний зависит не только от отношения размеров выработанного пространства к глубине разработки, но и от глубины разработки, а также размеров выработанного пространства.

Сравнение графиков, построенных по данным работы [4] и с помощью компьютерного моделирования, показывает их хорошую сходимость, что позволяет сделать вывод о возможности применения разработанной математической модели процесса сдвижения горных пород и земной поверхности для прогнозирования ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности.

Библиографический список

1. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.001.00159226.001-2003. – К., 2003 – 128 с.
2. Турчанинов И.А. Основы механики горных пород / И.А. Турчанинов, М.А. Иофис, Э.В. Каспарьяню. – Л.: Недра, 1989. – 488 с.
3. 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.
4. Кулибаба С.Б. Определение точек максимальных наклонов в мульде сдвижения / С.Б. Кулибаба, М.Д. Рожко, Б.В. Хохлов // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. – 2009. – Вип. 9 (143). – С. 158-167.

Надійшла до редакції 24.11.2014

Б.О. Кодунов

Донецкий национальный технический университет

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗТАШУВАННЯ ТОЧОК ПЕРЕГИНУ КРИВОЇ ОСІДАНЬ МЕТОДОМ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У статті приведено результати комп'ютерного моделювання процесу зрушення гірських порід і земної поверхні при відробці вугільних пластів для умов Донбасу з метою встановлення закономірностей в розташуванні точок перегику кривої осідань. Виконано порівняння отриманих результатів з існуючими аналітичними методами.

Ключові слова: область зрушення, мульда зрушення, крива осідань, деформації, точка перегику кривої осідань.

В.А. Kodunov

Donetsk National Technical University

DEFINING THE LOCATION OF SUBSIDENCE CURVE INFLECTION POINTS BY COMPUTER SIMULATION

The article gives the results of computer simulation of rock and earth surface movement after mining works in Donbas for the purpose of establishing regularities in the location of subsidence curve inflection points. The results are compared with existing analytical methods.

Keywords: area of displacement, subsidence trough, subsidence profile, deformations, inflection point.