

КОДУНОВ Б.А., канд. техн. наук, доц., ЛЯЩЕНКО М.О., студент (КИИ ДонНТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ МУЛЬДЫ СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Розглянуто результати математичного моделювання процесу зрушення гірських порід і земної поверхні під впливом підземної відробки вугільних пластів. Проаналізовано математичні формули, пропонуючі для опису форми мильди зрушень в масиві гірських порід та на земній поверхні.

Проблема и её 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 мильдой сдвижения. При образовании мильды породы перемещаются и деформируются. Для количественного описания степени перемещений и деформаций пород в мильде сдвижения используют следующие параметры: вертикальные оседания; горизонтальные сдвижения; горизонтальные и вертикальные деформации растяжения – сжатия; деформации наклонов и кривизны. Зная математическую зависимость, описывающую форму мильды сдвижения, можно установить следующие параметры: вертикальные оседания, наклоны, кривизну. Горизонтальные сдвижения и деформации можно определить, зная зависимость распределения наклонов и кривизны в мильде сдвижения. Таким образом, зная математическую зависимость, описывающую форму мильды сдвижения, можно определить практически все сдвижения и деформации в любой её точке, 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 мильды сдвижения ему посвящено множество работ. Можно сказать, что ни одно серьёзное 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 мильды сдвижения, не существует, что предопределяет необходимость дальнейших исследований.

Постановка задач исследований. Задачами данной работы являются сравнение и анализ различных методов математического описания формы мильды сдвижения в подработанном массиве горных пород и на земной поверхности. Для решения поставленных задач используются 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 мильды 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 любой точки в мильде сдвижения описываются выражением, предложенным С.П. Колбенковым [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 критические 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. Учитывая выражения (2) и (3), можно сказать, что в точках перегиба кривой мульды сдвижения 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. Кривые оседаний, наклонов и кривизны, полученные на основе кривой Гаусса изображены на рис. 1.

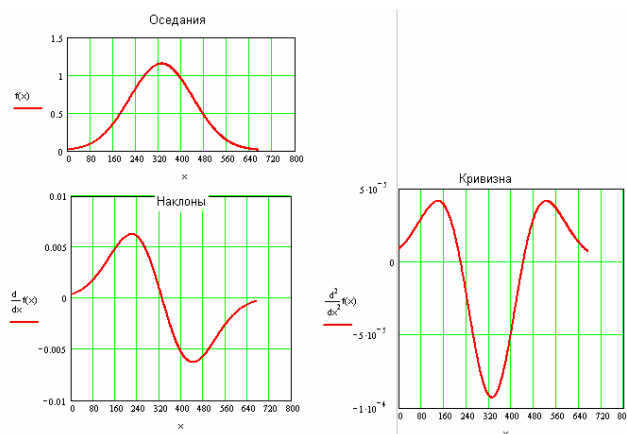


Рис. 1. Графики параметров мульды сдвижения.

Предыдущими исследованиями установлено, что точки перегиба кривой мульды сдвижения при полной подработке находится над границами выработанного пространства, а с увеличением глубины разработки или уменьшении размеров выработанного пространства, то есть с уменьшением кратности подработки положение этих точек смещается в сторону массива. Эта зависимость носит сложный характер и с трудом поддается аналитическому описанию. В этом случае может быть использовано компьютерное моделирование процесса сдвижения.

Для прогнозирования сдвижений и деформаций горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных месторождений может быть предложен метод, сущность которого заключается в следующем [3]. Площадь отрабатываемой 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. 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 рис. 2 показана кривая оседаний в главном сечении мульды сдвижения, полученная при моделировании отработки пласта мощностью 2 м, залегающего на глубине 400 м, лавой размерами 200 x 400 м.

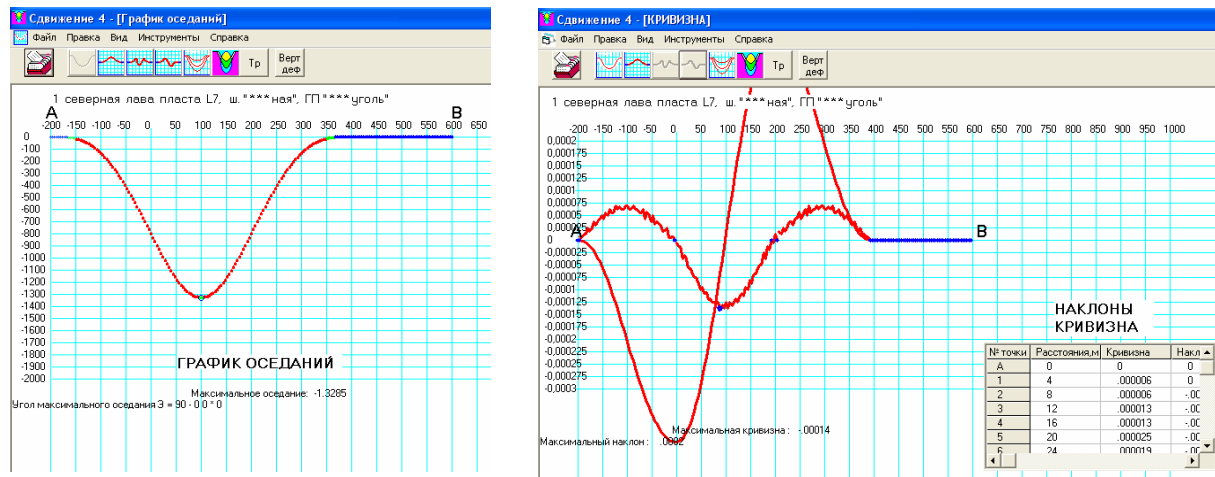


Рис. 2. Моделирование процесса сдвижения горных пород.

При компьютерном моделировании процесса сдвижения отпадает необходимость аналитического описания кривой оседаний, так как её графическое представление получается в виде результирующих координат перемещений частиц.

Для описания кривой оседаний мульды сдвижения возможно использования уравнений защемлённой или свободнолежащей балки. Для этих случаев графики оседаний наклонов и кривизны показаны на рис.3.

Вариант с балкой, защемлённой с двух сторон по мнению многих авторов может быть применён для условий, соответствующих положению породных слоёв в массиве, а вариант свободно лежащей балки соответствует поверхностному слою пород или наносам. Для свободно лежащей балки характерно поднятие её концов. Данный эффект

(приподняtie почвы на границах муьды сдвижения) подтверждается фактическими наблюдениями.

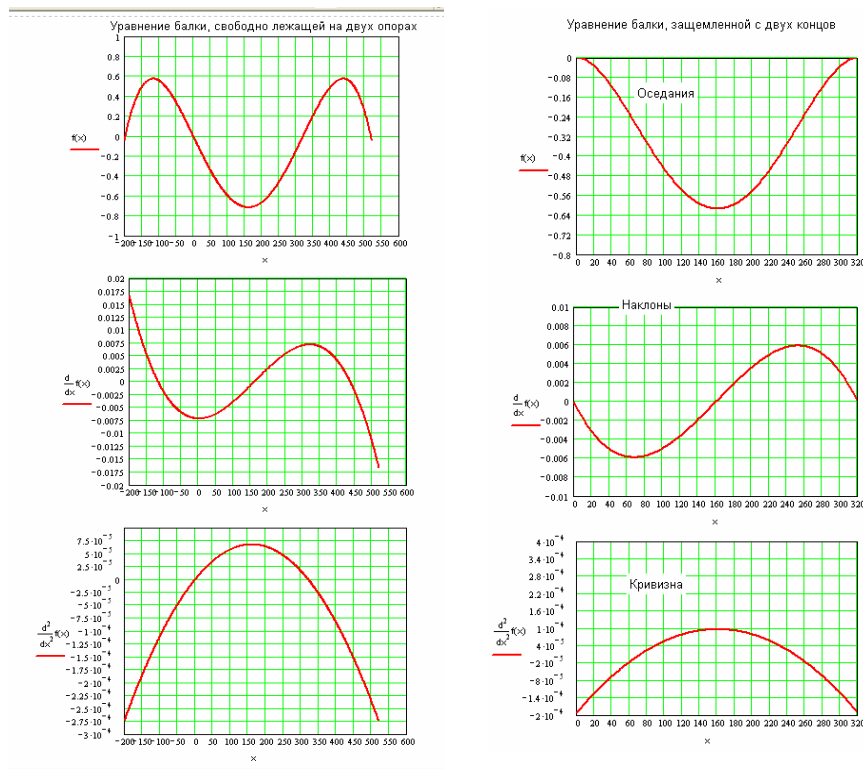


Рис. 3. Графики оседаний, наклонов, кривизны для гипотезы балок.

Анализируя приведенные графики, приведенные на рис .3, необходимо отметить их существенное отличие от приведенных на рис. 1 и 2, а также от данных фактических наблюдений за процессом сдвижения.

Таким образом, аналитические исследования формы и параметров муьды сдвижения показали возможность применения предложенного метода компьютерного моделирования для прогнозирования ожидаемых сдвижений и деформаций породного массива и земной поверхности.

Библиографический список

1. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом.- Донецк: УкрНИМИ, 2004.- 127с.
2. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – Л: Недра, 1989.- 488 с.
3. Б.А. Кодунов. Метод прогнозирования сдвижений горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных месторождений // Уголь.- 1991.-№2.-С.54-56.
4. Куликов В.В. Выпуск руды.- М: Недра, 1980.- 303с.