

Е.С.РОЖНОВ, аспирант, rozhnov86@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

E.S.ROZHN OV, post-graduate student, rozhnov86@mail.ru

Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

РАСЧЕТ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИЙ ТИПОВЫХ КРИВЫХ, ВЫРАЖЕННЫХ АНАЛИТИЧЕСКИ

Рассмотрен расчет сдвижений и деформаций земной поверхности методом типовых кривых при разработке угольных месторождений подземным способом. Предложено уравнение для аналитического выражения типовых кривых. Приведены результаты сравнения заданных и полученных по формуле величин для Донецкого и Кизеловского угольных бассейнов.

Ключевые слова: типовые кривые, деформации, оседания, наклоны, кривизна, сдвижения, земная поверхность.

CALCULATION MOVING AND DEFORMATIONS USED FUNCTIONS OF TYPICAL CURVES, ANALYTICALLY EXPRESSED

In the article the calculation moving and deformations earthly surface is considered by the method of typical curves at development coal deposits an underground method. Equalization for analytical expression typical curves is offered. The results comparison the sizes set and got on a formula are resulted for Donetsk and Kizelovsk coal pools.

Key words: typical curves, deformations, settlements, inclinations, curvature, moving, earthly surface.

Под влиянием подземных горных работ на земной поверхности образуются мульды сдвижения. В настоящее время при расчетах сдвижений и деформаций в мульде при разработке угольных месторождений в России и странах СНГ получил широкое применение эмпирический метод типовых кривых – функций распределения основных видов сдвижений и деформаций, представляющих собой выраженные в безразмерной форме средние значения оседаний, наклонов, кривизны, горизонтальных сдвижений и деформаций.

Типовые кривые оседаний и их первые две производные $S(z)$, $S'(z)$, $S''(z)$, а также исходные параметры, характеризующие

особенности геологического строения, получены на основе статистической обработки результатов инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности в основных угольных бассейнах и месторождениях.

К исходным параметрам процесса сдвижения относятся граничные углы β_0 , γ_0 , δ_0 для определения границ мульды, угол максимального оседания Θ и углы полных сдвижений ψ_1 , ψ_2 , ψ_3 для определения положения точек в мульде с максимальным оседанием, а также относительные величины сдвижений q_0 , a .

По исходным параметрам процесса сдвижения и по заданным горно-геологическим показателям (мощность пласта, глубина

разработки, размеры очистной выработки, угол падения пласта, мощность наносов и др.) определяют размеры мульды (длины полумульд L_1, L_2, L_3). По эмпирической формуле вычисляется максимальное оседание η_m . Величины сдвижений и деформаций в отдельных точках мульды вычисляются по следующим формулам:

оседание

$$\eta(x) = \eta_m S(z); \quad (1)$$

наклоны

$$i(x) = \frac{\eta_m}{L} S'(z); \quad (2)$$

кривизна

$$k(x) = \frac{\eta_m}{L^2} S''(z); \quad (3)$$

горизонтальные сдвижения в точках главных сечений мульды:

- по простиранию пласта

$$\xi(x) = \pm 0,5 a \eta_m S'(z); \quad (4)$$

- вкрест простирания пласта

$$\xi(x) = \pm 0,5 a \eta_m [S'(z) \pm 2BS(z)], \quad (5)$$

где B – коэффициент,

$$B = \frac{1}{a} \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{h + h_m}{H_{cp}} \right) \geq 0, \quad (6)$$

α – угол падения пласта; h – мощность наносов; h_m – мощность горизонтально залегающих ($\leq 5^\circ$) мезозойских отложений; H_{cp} – средняя глубина разработки; a – относительное максимальное горизонтальное сдвижение.

Типовые кривые $S(z)$ и ее производные $S'(z), S''(z)$ принято задавать в форме таблиц, которые содержатся в «Правилах охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях» [3], что удобно для расчетов и вполне достаточно. Однако при теоретических исследованиях различных вопросов задание этих функций

только таблично создает трудности и неудобства. К теоретическим вопросам можно отнести анализ влияния ошибок определения отдельных параметров (длины лавы, глубины разработки и т.д.) на погрешность расчетных величин; сглаживания первичных кривых оседаний на отдельно взятых профильных линиях; суммирование мульд при отработке нескольких пластов. На современном этапе развития вычислительной техники использование формулы для аналитического выражения типовой кривой намного облегчит построение мульд, моделирование геомеханических процессов, расчет и прогноз сдвижений и деформаций.

Большой вклад в решение данного вопроса внесли С.Г.Авершин [1], С.П.Колбенков [2]. Проведенные исследования по отысканию математических формул для выражения типовых кривых, а также первичных кривых измеренных величин сдвижений и деформаций показали, что для аналитического выражения всякой кривой оседания, в том числе и типовой (сглаженной) кривой, наиболее приемлемой является показательностепенная функция, предложенная С.П.Колбенковым [2],

$$S(z) = (1 - z)^{az^b e^{cz}} \quad (7)$$

где $z = x/L$; L – длина полумульды; x – абсцисса рассматриваемой точки (начало координат в точке максимального оседания); e – основание натуральных логарифмов; a, b, c – постоянные коэффициенты, определяемые по заданным табличным величинам.

Первая и вторая производные функции по z будут иметь вид:

$$S'(z) = \left[\left(c + \frac{b}{z} \right) \ln(1 - z) - \frac{1}{1 - z} \right] \times \\ \times (az^b e^{cz})(1 - z)^{az^b e^{cz}} \quad (8)$$

$$S''(z) = \left[c + \frac{b}{z} + \left\{ \left(c + \frac{b}{z} \right) \ln(1 - z) - \frac{1}{1 - z} \right\} (az^b e^{cz}) + \right.$$

Сравнение табличных и расчетных величин типовых кривых

z	Донбасс						Кизеловский бассейн					
	Заданы таблично, n = 0,8			Получены по формуле, a = 3,7512 b = 1,0013 c = 0,2067			Заданы таблично, n = 0,9			Получены по формуле, a = 3,1605 b = 1,0135 c = 0,2238		
	S(z)	S'(z)	S''(z)	S(z)	S'(z)	S''(z)	S(z)	S'(z)	S''(z)	S(z)	S'(z)	S''(z)
0	1,00	0,0	-7,4	1,00	0,0	-7,4	1,0	0,0	-5,5	1,0	0,0	-5,5
0,1	0,97	0,73	-7,0	0,96	0,76	-7,3	0,96	0,7	-5,8	0,97	0,6	-6,3
0,2	0,85	1,36	-5,6	0,85	1,42	-5,7	0,87	1,2	-4,8	0,88	1,2	-5,2
0,3	0,69	1,83	-3,0	0,69	1,84	-2,7	0,73	1,6	-3,5	0,73	1,6	-3,1
0,4	0,48	1,91	0,7	0,49	1,94	0,8	0,56	1,8	-0,8	0,56	1,8	-0,5
0,5	0,31	1,67	3,9	0,31	1,70	3,7	0,37	1,7	2,5	0,38	1,7	2,2
0,6	0,17	1,20	5,1	0,16	1,24	5,3	0,22	1,3	4,3	0,22	1,4	4,1
0,7	0,08	0,71	4,4	0,06	0,71	5,0	0,11	0,9	4,0	0,10	0,9	4,9
0,8	0,03	0,35	2,8	0,02	0,28	3,3	0,05	0,5	3,3	0,03	0,5	4,2
0,9	0,01	0,13	1,2	0,01	0,05	1,3	0,01	0,3	1,8	0,01	0,1	2,4

Таблица 2

Среднестатистические отклонения величин типовых кривых

Показатель	Донбасс				Кизеловский бассейн			
СКО	n = 1	n = 0,9	n = 0,8	n = 0,7	n = 1	n = 0,9	n = 0,8	n = 0,7
S(z)	0,012	0,007	0,009	0,011	0,006	0,007	0,007	0,032
S'(z)	0,056	0,049	0,040	0,037	0,051	0,066	0,056	0,197
S''(z)	0,489	0,710	0,298	0,293	0,536	0,560	0,541	0,752

$$+ \frac{\left(c - \frac{b}{z^2}\right) \ln(1-z) - \frac{1}{1-z} \left(c + \frac{b}{z}\right)}{\left(c + \frac{b}{z}\right) \ln(1-z) - \frac{1}{1-z}} \times$$

$$\times \left[\left(c + \frac{b}{z}\right) \ln(1-z) - \frac{1}{1-z} \right] (az^b e^{cz})(1-z)^{az^b e^{cz}} \quad (9)$$

Данная функция зависит от трех коэффициентов, следовательно, задача заключается в подборе этих коэффициентов таким образом, чтобы среднее квадратическое отклонение полученных по формуле и табличных величин было минимальным. Для каждого коэффициента подработанности в угольном бассейне определяются собственные значения коэффициентов a , b и c .

Для определения коэффициентов использовался метод наименьших квадратов.

Алгоритм расчета составлен в программе MathCAD. В табл.1 приведено сравнение табличных и расчетных величин $S(z)$, $S'(z)$, $S''(z)$ для Донбасса при коэффициенте подработанности, равном 0,8, и Кизеловского бассейна при коэффициенте подработанности, равном 0,9.

В табл.2 приведены среднее квадратическое отклонения табличных и расчетных величин $S(z)$, $S'(z)$, $S''(z)$ для Донбасса и Кизеловского бассейна.

Таким образом, при использовании аналитических выражений типовых кривых $S(z)$, $S'(z)$ и $S''(z)$, данных в виде формул (7)-(9), расчет величин сдвижений и деформаций в мульде по формулам (1)-(5) может быть задан математическими формулами. Также возможно использование этих формул при решении теоретических вопросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авершин С.Г.* Сдвижение горных пород при подземных разработках. М.: Углетехиздат, 1947.
2. *Колбенков С.П.* Аналитическое выражение типовых кривых сдвижения поверхности // Труды ВНИМИ. Л., 1961. № 43.
3. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождения / ВНИМИ. СПб, 1998.

REFERENCES

1. *Avershin S.G.* Moving of rock at underground development. Moscow: Ugletehizdat, 1947.
2. *Kolbenkov S.P.* Analytically expressed typical curves moving surface // Works VNIMI. Leningrad, 1961. N 43.
3. Rules of protection of constructions and natural objects from harmful influence of underground mountain workings out on coal deposits / VNIMI. Saint Petersburg, 1998.