

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОНВЕРГЕНЦИИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

При выемке пласта угля неизбежен процесс деформирования подготовительных выработок, оконтуривающих лаву. Величина смещений породного контура в них определяется совокупностью влияющих горнотехнических факторов, которые формируют характер развития деформаций во времени и пространстве в зависимости от расстояния до очистного забоя. Между характером смещений и значениями горнотехнических факторов существуют зависимости, которые используются при прогнозировании развития процесса смещений пород в подготовительных выработках.

На основании прогнозных смещений и их распределения по длине выработки рассчитывают:

- податливость крепи;
- оптимальное место установки усиливающей крепи;
- оптимальное сечение выработки;
- необходимый отпор крепи для уменьшения величины смещений;
- время проведения ремонтных работ и их объем.

С учетом этих данных, актуальным является прогнозирование величины смещений выработки, которую планируется использовать повторно, для оценки экономической эффективности ее поддержания и обоснования мероприятий по снижению ее деформаций.

Распространенным подходом к анализу характера развития смещений является их математическое описание при помощи функциональных зависимостей, параметры которых отражают влияние учитываемых горнотехнических факторов [1-3]. Такие функции-модели являются аналитической интерпретацией пространственно-временного развития смещений в породном массиве и используются при прогнозировании смещений пород вокруг выработки. Очевидно, что от выбора модели и входящих в нее параметров зависит качество прогноза ожидаемых смещений.

Учитывая вышесказанное, для прогнозирования смещений пород в подготовительной выработке необходимо решить две задачи:

- разработать функцию-модель для описания смещений пород в подготовительных выработках при влиянии очистных работ;
- установить зависимости между значениями параметров модели и влияющими горнотехническими факторами. Так как в нормативном документе [3] при расчете смещений пород в подготовительной выработке не учитывается скорость подвигания очистного забоя, а закономерности деформирования штрека при различной скорости подвигания в условиях слабых боковых пород недостаточно изучены [4], то актуальной задачей является прогнозирование конвергенции при различных значениях данного фактора.

Для описания смещений пород, учитывая пространственно-временной характер их развития, имеет смысл применение логистических моделей [3] проведен широкий обзор логистических моделей (рассмотрено 18 функций), анализ которого показал, что наиболее соответствующей характеру развития смещений пород является модель Ричардса, обладающая произвольной асимметрией. Проведенные нами исследования позволили адаптировать её для описания смещений пород, и записать в следующем виде:

$$U = U_{\max} - U_{\max} \left(1 - \frac{e^{d \cdot x_p}}{m} \cdot e^{-d \cdot L}\right)^m \quad (1)$$

где: U – смещение пород, м; L – расстояние до очистного забоя, м (впереди лавы знак «+», за лавой – «-»); U_{\max} , d , m , x_p – параметры функции.

В модели (1) параметры U_{\max} и x_p непосредственно являются максимумом смещений за лавой и абсциссой точки перегиба, параметр d отражает скорость смещений пород, параметр m влияет на асимметрию кривой (см. рис. 1).

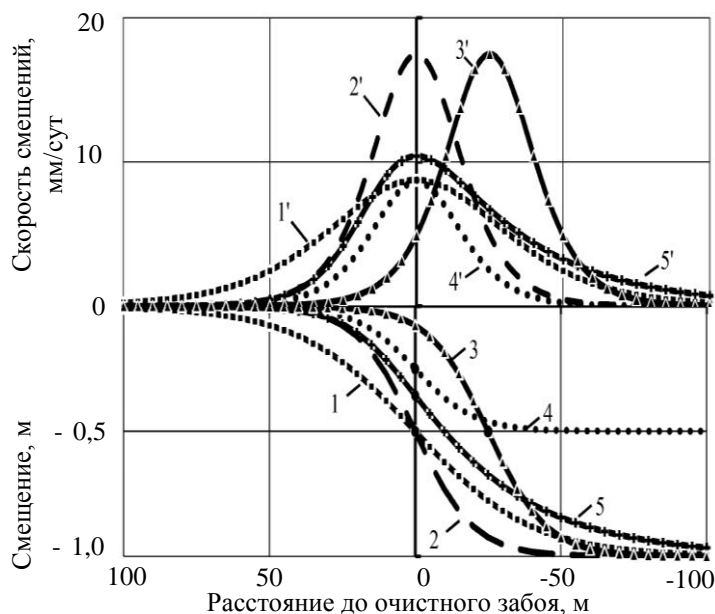


Рис. 1. Вид графиков смещений и скоростей смещений, задаваемых логистической моделью (1) при различных значениях параметров. Исходные параметры: 1,1' – $U_{\max} = 1$, $d = 0.05$, $m = -0.1$, $x_p = 0$. Измененные значения параметров: 2,2' – $d = 0.1$; 3,3' – $x_p = -25$; 4,4' – $U_{\max} = 0.5$; 5,5' – $m = -0.3$.

Приведенная модель смещений пород позволяет прогнозировать развитие вертикальной конвергенции с учетом изменения горнотехнических условий ведения горных работ путем установления их влияния на параметры U_{\max} , x_p , d и m . Для этого необходимо:

- набрать исходный объем информации, т.е. выполнить замеры смещений пород при различных значениях влияющего горнотехнического фактора.
- выполнить аппроксимацию измеренных данных моделью (1);
- установить зависимости между значением влияющего фактора и параметрами модели;

- по полученным зависимостям выполнить расчет параметров, задаваясь значением влияющего фактора;
- выполнить построение прогнозной модели по рассчитанным параметрам..

Такой способ прогнозирования является статистико-аналитическим. Для учета одновременного изменения нескольких влияющих горнотехнических факторов можно применять множественную регрессию либо нейросетевое моделирование [1]. Для аппроксимации измеренных данных функцией (1) рекомендуется использовать метод последовательных приближений [5], который, например, реализован в программном продукте [6]. Поскольку входящие в модель параметры влияют на значение скорости смещений, то для оптимального соответствия как смещениям, так и скоростям смещений предлагается её предварительная калибровка. Этот процесс заключается в аппроксимации смещений моделью (1), а затем скоростей смещений производной от (1) с дальнейшим усреднением полученных параметров m и d .

Рассмотрим применение данной методики для прогнозирования конвергенции выработки горнотехнических условий шахты «Степная» при различных скоростях подвигания очистного забоя. Измерения выполнены в 163-м, 159-м и 165-м штреках при различных скоростях подвигания очистного забоя 3, 4 и 7 м/сут, и при эквивалентных по отпору паспортах крепления и поддержания [5]. Полученные данные были описаны моделью (1), параметры которой для каждого случая приведены в табл. 1.

Таблица 1

штрек	Скорость подвигания лавы v , м/сут	значение параметра модели (1)			
		d	m	U_{max}	x_p
163	3	0.0479	-	-1.87	4.0
159	4	0.0573	-	-1.72	-
165	7	0.0809	-	-1.08	-

Между значениями скорости подвигания забоя лавы v и параметров модели d , m , U_{max} и x_p установлены следующие зависимости:

$$d = 0.0243v^{0.6184}, R^2 = 0.99;$$

$$m = -1.7177v^{-1.2880}, R^2 = 0.98;$$

$$U_{max} = -4.069v^{-0.67}, R^2 = 0.96;$$

$$x_p = -9.924 \ln(v) + 12.7, R^2 = 0.67.$$

По полученным зависимостям были рассчитаны параметры модели для прогнозируемых скоростей подвигания 2, 3, 4, 7 и 10 м/сут (см. табл. 2).

Таблица 2

скорость подвигания лавы,	прогнозируемое значение			
	d	m	U_{max}	x_p
2	0.0373	-	-	5.8
3	0.0479	-	-	1.8
4	0.0573	-	-	-1.1
7	0.0809	-	-	-6.6
10	0.1009	-	-	-

По полученным параметрам построены графики прогнозируемых смещений (рис. 2).



Рис. 2. Прогнозируемые значения вертикальной конвергенции выработки в условиях ш. «Стенная» при различных скоростях подвигания забоя и измеренные данные в 159-м (●), 163-м (×) и 165-м (+) штреках

Результаты справедливы для таких условий: слабометаморфизованные породы, показатель $(\gamma H)/\sigma_{сж} = 0,3 \dots 0,4$; отпор крепи впереди лавы и на сопряжении 550–650 кН/м; за лавой установлены две деревянные стойки усиления с шагом 0,7–0,8 м и охранная конструкция из органных рядов и накатных костров; отсутствие мощных слоев песчаника (>15 м) в кровле обрабатываемого пласта.

При другом значении показателя $(\gamma H)/\sigma_{сж}$ и (или) отпоре крепи можно экстраполировать полученные результаты, приняв указанные условия за единичные и используя относительные изменения параметров U_{max} , x_p , d и m . Порядок действий в таком случае следующий (далее применяются верхние индексы: «^Д» — для обозначения параметров модели, полученных аппроксимацией смещений, измеренных при другом значении показателя $(\gamma H)/\sigma_{сж}$ и (или) отпоре крепи; «^П» — для обозначения параметров прогнозной модели.):

1. провести натурные наблюдения за смещениями пород в новых условиях при скорости подвигания забоя $v^Д$;

2. аппроксимировать полученный результат моделью (1) и получить значения параметров $U_{max}^Д$, $d^Д$, $m^Д$ и $x_p^Д$;

3. для прогноза значений смещений при скорости подвигания $v^П$, отличной от $v^Д$, рассчитать коэффициент увеличения скорости подвигания очистного забоя k_v :

$$k_v = v^П / v^Д$$

где $v^П$ — прогнозируемая скорость подвигания очистного забоя, $v^Д$ — скорость подвигания забоя;

4. параметры $U_{max}^П$, $d^П$, $m^П$ и $x_p^П$ и для прогнозной модели смещений при скорости подвигания $v^П$ рассчитать по формулам:

$$d^П = d^Д \cdot k_v^{0.6184}; m^П = m^Д \cdot k_v^{-1.2880}$$

$$U_{max}^П = U_{max}^Д \cdot k_v^{-0.67}; x_p^П = x_p^Д - 9.924 \cdot \ln(k_v)$$

В целях совершенствования статистико-аналитической модели рекомендуется проводить наблюдения за смещениями пород в условиях, для которых выполнялось прогнозирование. Результаты наблюдений служат для оценки достоверности и пополнения базы данных модели.

Выводы. Для описания смещений пород в подготовительных выработках в зоне влияния лавы разработана нелинейная функция-модель, параметры которой определяются путем аппроксимации измеренных смещений пород в выработках.

На основании функции-модели можно реализовывать статистико-аналитический способ прогнозирования, заключающийся в установлении зависимостей между значениями параметров функции и горнотехническими параметрами, в условиях которых выполнялись замеры смещений пород.

Для условий слабых боковых пород Западного Донбасса выполнено прогнозирование конвергенции выработки с учетом различной скорости подвигания очистного забоя. В дальнейшем при увеличении количества наблюдений прогнозную модель необходимо уточнять.

Литература

1. Prusek S. Metody prognozowania deformacji chodników przyścianowych w strefach wpływu eksploatacji z zawalem stropu. // Prace Naukowe GIG nr 874. Katowice, 2008. 186 s.

2. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони [Текст]. Мінвуглепром України. – К., 2007. – 113 с.

3. Семёнычев В.К., Семёнычев Е.В. Параметрическая идентификация рядов динамики: модели, эволюция. – Самара: АНО «Изд-во СНЦ РАН» - 2011 г. – 364 с.

4. Халимендик Ю.М. Влияние скорости подвигания очистного забоя на деформирование контура подготовительной выработки в условиях слабометаморфизованных пород. / Ю.М. Халимендик, А.С. Барышников // Международная научно-практическая конференция «Форум горняков – 2015». Т.2. Днепропетровск 2015 с.

5. Алгоритм Левенберга — Марквардта [Электронный ресурс] : Википедия, свободная энциклопедия. — Электрон. дан. — Сан-Франциско: Фонд Викимедиа, 2015. — Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=68090591>

6. Программное обеспечение CurveExpert Professional. Режим доступа: www.curveexpert.net