

$$k_n = \frac{U_{conv}^{fact} - U_{conv}^{calc}}{U_{conv}^{fact}}$$

где U_{conv}^{fact} – измеренная конвергенция кровли и почвы конвейерного штрека;

U_{conv}^{calc} – расчетная конвергенция кровли и почвы конвейерного штрека.

Значения коэффициента пересчета по формуле (1) для замерных станций №1 и №3 приведены в табл. 2-3.

Тогда величины смещений пород почвы и кровли, вычисленные МКЭ, можно скорректировать с учетом имеющихся

фактических данных, используя коэффициент пересчета k_n

$$U_{corr}^{conv} = \frac{U_{conv}^{calc}}{(1 - k_n)}.$$

Так, сравнивая результаты шахтных измерений с результатами численного решения, можно сделать вывод о том, что параметры пространственной расчетной геомеханической модели с помощью коэффициента пересчета настроены корректно, так как достигнута адекватность смещений, измеренных глубинными реперами и полученных расчетных смещений в пределах погрешности шахтных измерений.

Разработанная расчетная геомеханическая модель используется автором для исследования влияния различных горно-геологических и горнотехнических факторов на пространственное распределение параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива при имитации движения очистных комплексно-механизированных забоев и формировании в выемочном поле выработанного пространства сложной геометрической формы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна: Справочник / Г.Г. Штумпф, Ю.А. Рыжков, В.А. Шаламанов, А.И. Петров. – М.: Недра, 1994. – 447 с.
2. Лаврик В.Г. Взаимодействие геомеханических и газодинамических процессов при интенсивной отработке пологих газоносных пластов / В.Г. Лаврик, С.Р. Ногих, М.И. Радиковский. – Новокузнецк: АОУК “Кузнецкуголь”, препринт № 57, 1988. – 13 с.
3. Черняк И.Л. Управление состоянием массива горных пород / И.Л. Черняк, С.А. Ярунин. – М.: Недра, 1995. – 395 с.
4. Павлова Л.Д. Алгоритм прогноза напряженно-деформированного состояния и разрушения горных пород в окрестности подготовительной выработки / Л.Д. Павлова // Известия вузов. Горный журнал. – 2003. - № 1. – С. 59 – 63.

□ Автор статьи:

Павлова

Лариса Дмитриевна

– канд. техн. наук, доц. каф. прикладной информатики (Сибирский государственный индустриальный университет)

УДК 622.831

В.А. Гоголин, Т.И. Кургужина

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ РАЗВИТИИ ГОРНЫХ РАБОТ И НЕПОЛНОЙ ПОДРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрим процесс формирования опорного давления при развитии горных работ и неполной подработке поверхности.

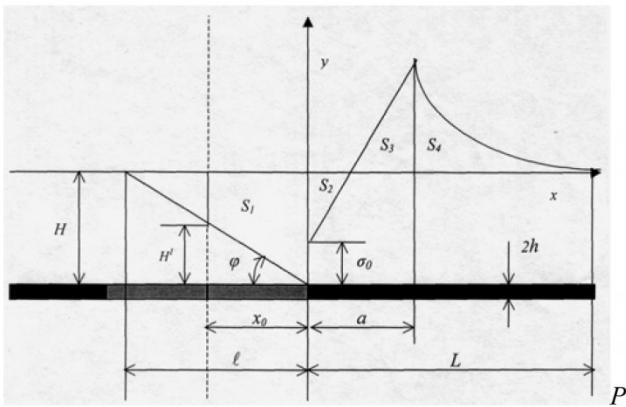
Решаем плоскую задачу о распределении напряжений вокруг изолированной очистной выработки длиной $2x_0$. Выработка проведена горизонтально на глубине H в пласте мощностью $2h$. Напряженное состояние в пласте симметрично относительно середины длины выработки. Подработ-

ка поверхности неполная, т.е. $|x_0| < \ell$. Схему к расчету области опорного давления см. на рис. 1.

Закон нарастания нагрузки в зоне опорного давления от σ_o до σ_{max} согласно работе [7] считаем прямолинейным. Тогда в выбранной системе координат при $0 \leq x \leq a$:

$$\Sigma = -\gamma H + \sigma + k x,$$

где σ – опорное давление, γ – насыпной вес, H – глубина разработки, σ_o – напряжение на краю



ис.1. Схема к расчету области опорного давления Рис.

выработки, κ - коэффициент пропорциональности, x - расстояние от обнажения вглубь пласта.

Функцию убывания нагрузки примем обратно пропорциональной квадрату расстояния от выработки. Тогда при $x > a$:

$$\sigma_o = \frac{c}{x^2},$$

где c – коэффициент аппроксимации, a - расстояние до точки максимума опорного давления..

При $x = a$ напряжение непрерывно:

$$-\gamma H + \sigma_o + \kappa a = \frac{c}{a^2}.$$

где a – расстояние до точки максимума опорного давления.

Уравнение баланса нагрузки (рис.1 1):

$$S_1 + S_2 = S_3 + S_4$$

Обозначим $n = \frac{x_0}{\ell}$ - показатель восстановления нагрузки обрушенных пород кровли на почву выработки, при $n = 1$ достигается полная подработка поверхности;

$$n = \frac{x_0}{\ell} = \frac{H'}{H} = \frac{n H \operatorname{ctg} \varphi}{\ell},$$

где φ - угол давления,

S_1, S_2, S_3, S_4 - площади соответствующих фигур:

$$S_1 = \frac{x_0}{2} (\gamma H - \gamma(H - H')) = \gamma H^2 \operatorname{ctg} \left(n - \frac{1}{2} n^2 \right);$$

$$S_2 = \frac{1}{2\kappa} (\gamma H - \sigma_o)^2;$$

$$S_3 = \frac{a}{\kappa} \int_{\gamma H - \sigma_o}^{(-\gamma H + \sigma_o + \kappa x)dx} =$$

$$= (-\gamma H + \sigma_o) a + \frac{\kappa a^2}{2} + \frac{(\gamma H - \sigma_o)^2}{2\kappa}$$

$$S_4 = \int_0^{\infty} \frac{c}{x^2} dx = \frac{c}{a}.$$

Тогда уравнение баланса нагрузки:

$$\begin{aligned} \gamma H^2 \operatorname{ctg} \varphi \left(n - \frac{1}{2} n^2 \right) + \frac{(\gamma H - \sigma_o)^2}{2\kappa} = \\ = -\gamma H a + \sigma_o a + \frac{\kappa a^2}{2} + \frac{(\gamma H - \sigma_o)^2}{2\kappa} + \frac{c}{a}; \\ \frac{\gamma H^2}{2} \operatorname{ctg} \varphi \left(n - \frac{1}{2} n^2 \right) + \gamma H a - \sigma_o a - \frac{\kappa a^2}{2} = \frac{c}{a}. \end{aligned}$$

Решением системы:

$$-\gamma H + \sigma_o + \kappa a = \frac{c}{a^2};$$

$$\gamma H^2 \operatorname{ctg} \varphi \left(n - \frac{1}{2} n^2 \right) + \gamma H a - \sigma_o a - \frac{\kappa a^2}{2} = \frac{c}{a}$$

будет уравнение:

$$3\kappa a^2 - 4(\gamma H - \sigma_o)a - \gamma H^2 \operatorname{ctg} \varphi \left(n - \frac{1}{2} n^2 \right) = 0.$$

При условии $a > 0$ уравнение имеет единственное решение:

$$a = \frac{2f + \sqrt{4f^2 + 6\kappa\gamma H^2 \operatorname{ctg} \varphi \left(n - \frac{1}{2} n^2 \right)}}{3\kappa} \quad (1)$$

При $n=1$ (полная подработка):

$$a = \frac{2f + \sqrt{4f^2 + 3\kappa\gamma H^2 \operatorname{ctg} \varphi}}{3\kappa}.$$

Упростим формулу (1), пренебрегая в подкоренном выражении слагаемым $(4\sigma_o^2 - 8\gamma H \sigma_o)$. При этом для $H \in [100, 600]$ и $\sigma_o \in [0.2, 1]$ пренебрегаемая величина не превышает 2,8% от подкоренного выражения, максимальная относительная погрешность 1,75%.

Обозначим

$$A^* = \sqrt{4\gamma^2 + 6\kappa\gamma \operatorname{ctg} \varphi \left(n - \frac{1}{2} n^2 \right)}.$$

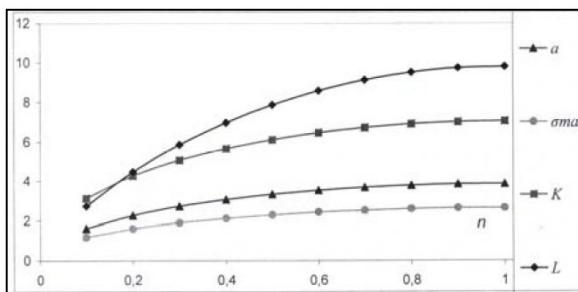
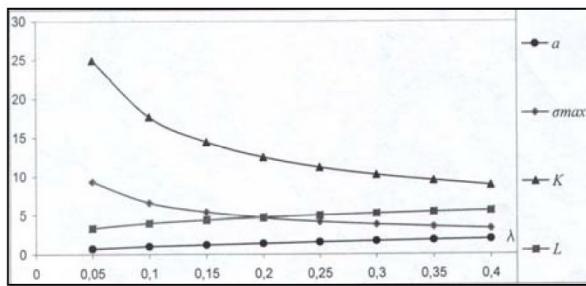
Тогда расстояние до точки максимума опорного давления:

$$a = \frac{2\gamma + A^*}{3\kappa} H - \frac{2\sigma_o}{3\kappa}.$$

Максимальное напряжение:

$$\sigma_{max} = -\gamma H + \sigma_o + \kappa a = \frac{A^* - \gamma}{3} H + \frac{\sigma_o}{3}.$$

Коэффициент концентрации напряжения:

Рис. 2. Графики зависимостей а, σ_{max} , L и K от nРис.3. Графики зависимостей а, σ_{max} , L и K от λ при $n=0.5$

$$K = \frac{\sigma_{max}}{\gamma H} = \frac{A^*}{3\gamma} - \frac{1}{3} + \frac{\sigma_0}{3\gamma H} \cong \frac{A^*}{3\gamma}.$$

Протяженность зоны опорного давления (принимаем 10% превышение γH):

Максимальная относительная погрешность для σ_{max} и K - 1,3%, для L - 2,4%

Анализ зависимостей а, σ_{max} , L и K от H и σ_0 дан в работе [17]. При $n < 1$ они аналогичны. Определим зависимость расстояния до точки максимума напряжения, максимального напряжения, длины зоны опорного давления и коэффициента концентрации напряжения от n .

Расстояние до точки максимума напряжения определяем по формуле (1),

$$\sigma_{max} = -H\gamma + \sigma_0 + a\kappa,$$

$$K = \frac{\sigma_{max}}{\gamma H}, \quad L = \sqrt{\frac{c}{1.1\gamma H}}.$$

Принимаем, согласно работе [2]:

$$\sigma_0 = \sigma_{куб}, \quad \kappa = \frac{1,3\sigma_{куб}}{h}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гоголин В.А., Кургузкина Т.И. Аналитическая оценка распределения опорного давления при полной подработке поверхности. Вестн. КузГТУ. 2004. № 2 С. 8-13.
- Петухов И.М., Линьков А.М., Сидоров В.С. Теория защитных пластов. – М.: Недра. 1976.

□ Авторы статьи:

Гоголин
Вячеслав Анатольевич
- докт. техн. наук, проф. каф. прикладной математики

Кургузкина
Татьяна Ивановна
- ст. преп. каф. высшей и прикладной математики (Московский Государственный Университет коммерции. Кемеровский институт)

где $\sigma_{куб}$ – прочность куба, испытанного в натуральных условиях:

$$h = 1 \text{ м}, \quad \varphi = 61^\circ, \quad \gamma = 2500 \text{ кг/м}^3, \\ H = 150 \text{ м}, \quad \sigma_0 = 0,5 \text{ МПа}.$$

Графики зависимостей расстояния до точки максимума а, максимального напряжения σ_{max} , длины зоны опорного давления L и коэффициента концентрации напряжения K от n приведены на рис 2.

Условие неполной подработки поверхности обычно выполняется при управлении кровлей с закладкой выработанного пространства.

Примем эффективную мощность пласта $h' = \lambda h$, где λ - максимальная относительная усадка закладочного материала ($\lambda = 0,05-0,40$).

На рис. 3 представлены графики зависимостей расстояния до точки максимума, максимального напряжения, длины зоны опорного давления и коэффициента концентрации напряжения от λ .

Исследование полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

- расстояние до точки максимума, максимальные напряжения и коэффициент концентрации напряжения пропорциональны $n^{1/3}$.

- протяженность зоны опорного давления расчет с увеличением $n^{2/3}$.

- расстояние до точки максимума напряжения пропорционально $\lambda^{1/2}$.

- максимальные напряжения и коэффициент концентрации напряжения убывают с увеличением $\lambda^{1/2}$.

- протяженность зоны опорного давления обратно пропорционально $\lambda^{-1/4}$.

В работе получены аналитические выражения, определяющие расстояние до точки максимума напряжения, величину максимального напряжения, протяженность зоны опорного давления и коэффициент концентрации напряжения при развитии горных работ и неполной подработке поверхности, выявлены их зависимости от n (отношение зоны частичного обрушения к зоне полного обрушения), и λ (максимальная относительная усадка закладочного материала). Результаты применимы при управлении горным давлением с закладкой выработанного пространства.