

7. Рудаков Д.В., Садовенко И.А. Обоснование модели инфильтрационных потоков в неоднородном подработанном массиве горных пород // Сб. науч. трудов ДНТУ, 2005. – №13. – С. 3-15.

8. Хоменко О.Е., Владыко А.Б. Влияние гидрогеологических факторов на расконсервацию запасов железных руд в условиях Криворожского бассейна // Науковий вісник НГУ, 2006. – №2. – С. 12-14.

9. Владыко А.Б., Хоменко О.Е., Козлов С.А. Прогнозирование устойчивости очистных камер в условиях фильтрации для ЗАО «Запорожский железорудный комбинат» Науковий вісник НГУ, 2007. – №2. – С. 13-15.

10 Хоменко О.Е. Усовершенствованный способ подготовки очистных блоков для шахт Южно-Белозерского месторождения железных руд // Науковий вісник НГУ, 2007. – №6. – С. 38-40.

УДК 622.831.24

© В.Д. Рябичев,
А.С. Гребенкина,
И.В. Шипунова

К ВОПРОСУ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УГОЛЬНОГО МАССИВА В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ ПЛАСТА

У статті обґрунтовані аналітичні залежності, що визначають параметри зони гранично-напруженого стану в призабойній частині пласта.

В статье обоснованы аналитические зависимости, определяющие параметры зоны предельно-напряженного состояния в призабойной части пласта.

Analytical dependences determining the parameters of area of the maximum-tense state in pryزابoynoy part of layer are grounded in the article.

Известно, что для обоснования технологических параметров отработки угольных пластов необходимо учитывать взаимосвязь поведения боковых пород угольного пласта со свойствами угля.

Нами предлагается аналитический способ описания напряженно-деформированного состояния пласта в зоне влияния проведения горных выработок.

Практикой установлено, что угольный пласт испытывает механическую нагрузку через вмещающие породы и поэтому является очевидной связью между величинами сближения пород кровли и почвы с деформациями пласта.

Принимаем, что вертикальная деформация пласта убывает с удалением вглубь пласта по линейной зависимости [1, 2]:

$$\Delta l = \Delta m - l \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

где Δl – вертикальные деформации пласта на удалении l от кромки пласта;

Δm – сближение кровли и почвы на кромке пласта;

α – угол между начальным положением плоскости кровли и ее положением после сближения почвы и кровли.

Так как нагрузки на пласт пропорциональны вертикальным деформациям, то очевидно, что максимальные нагрузки пласт должен испытывать на кромке. Поскольку пласт обладает ограниченной несущей способностью в условиях одноосного сжатия, то уголь на кромке пласта разрушается и переходит в состояние, называемое, предельно напряженным. Напряженность в зоне предельного состояния с некоторыми допущениями может быть описана исходя из

условий равновесного состояния.

Вертикальные напряжения σ_B в зоне предельного состояния могут быть определены из выражения [3]:

$$\sigma_a = k_1 \cdot k_2 \cdot e^{\varphi l}, \quad (2)$$

где k_1 – коэффициент сцепления для угля;

k_2 – коэффициент, зависящий от угла внутреннего трения β ,

$$k_2 = \frac{2 \cdot \cos \beta}{1 - \sin \beta};$$

l – расстояние от кромки пласта;

φ – коэффициент, который определяется из выражения:

$$\varphi = 2 \cdot f \cdot (r - \varepsilon \cdot m) \cdot (\varepsilon \cdot r \cdot m)^{-1},$$

где f – коэффициент трения, равный $\operatorname{tg} \beta$;

ε – коэффициент бокового распора, равный:

$$\varepsilon = l \cdot \left[\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\beta}{2} \right) \right]^{-1};$$

r – ширина выработки, м;

m – мощность пласта, м.

Выражение (2) получено с учетом боковых напряжений. При этом принималось, что боковые напряжения равны горизонтальным (действующим в направлении оси выработки). Из уравнения (2) следует, что напряженность пласта в призабойной зоне возрастает неограниченно с удалением вглубь пласта, в то время как было показано ранее, на некотором расстоянии от кромки пласта должен иметь место максимум напряженности, с удалением от которого напряжения снижаются вплоть до напряжений, действующих в нетронутом массиве. Очевидно также, что с удалением от кромки пласта за точку максимума напряженности в пласте действуют упругие напряжения.

Распределение напряжений в зоне упругого состояния пласта обычно определяют, исходя из представлений о горном массиве, как об изотропной среде.

Другое решение этой задачи, учитывающее реально существующие различия в деформационных свойствах пласта и вмещающих пород, позволяет выявить связь между сближениями почвы и кровли и напряженностью пласта.

В зоне упругого состояния пласт испытывает, за счет сближений почвы и кровли, вертикальные деформации сжатия и увеличение напряженности по сравнению с напряженностью нетронутого массива γH .

Для любой точки зоны упругого состояния зависимость между вертикальными деформациями и напряжениями может быть описана следующим выражением [3]:

$$\frac{\Delta l}{m} = \frac{\sigma_{в.упр} - \gamma \cdot H}{E} - \mu \cdot \left(\frac{\sigma_{г.упр} - \varepsilon_{упр} \cdot \gamma \cdot H}{E} + \frac{\sigma_{б.упр} - \varepsilon_{упр} \cdot \gamma \cdot H}{E} \right), \quad (3)$$

где $\varepsilon_{упр}$ – коэффициент бокового распора при упругом состоянии пласта,

$$\varepsilon_{упр} = \mu \cdot (1 - \mu)^{-1};$$

$\sigma_{в.упр}$, $\sigma_{г.упр}$, $\sigma_{б.упр}$ – соответственно вертикальные, горизонтальные и боковые напряжения в зоне упругого состояния, МПа.

Наши исследования упругих свойств углей Центрального района Донбасса (шахты «Южная», «Новодзержинская») показали, что они в первом приближении подчиняются закону Гука. В то же время установлено, что значение коэффициента Пуассона для углей зависит

от величины действующих напряжений, поэтому, принимая значение $\mu = const$, тем самым допускаем некоторую погрешность.

Так как $\sigma_{в.упр} = \frac{1}{3} \cdot \sigma_{с.упр} = \frac{1}{3} \cdot \sigma_{б.упр}$, то из уравнения (3) можно определить вертикальные напряжения, действующие в зоне упругого состояния:

$$\sigma_{в.упр} = \frac{E \cdot \Delta l}{\omega \cdot m} + \gamma H, \quad (4)$$

где $\omega = 1 - \frac{2 \cdot \mu^2}{1 - \mu}$.

С учетом зависимости (1), выражение (4) можно записать:

$$\sigma_{в.упр} = \frac{E \cdot (\Delta m - l \cdot tga)}{\omega \cdot m} + \gamma H. \quad (5)$$

Здесь $L \leq l \leq Lв$ (L – протяженность зоны предельного состояния, $Lв$ – протяженность области влияния выработки на напряженное состояние пласта). При $l = Lв$; $\sigma_{в.упр} = \gamma H$, при $l = L$ напряженность пласта достигает максимума:

$$\sigma_{в.маx} = \frac{E \cdot (\Delta m - L \cdot tga)}{\omega \cdot m} + \gamma H. \quad (6)$$

Из уравнений (2), (6) и условия равенства предельных и упругих напряжений в точке максимума напряженности можно получить уравнение, определяющее протяженность зоны предельного состояния:

$$L = \frac{1}{\varphi} \cdot \ln \left[\frac{E(\Delta m - L \cdot tga) + \gamma \cdot H}{\omega \cdot m \cdot k_1 \cdot k_2} + \frac{\gamma \cdot H}{k_1 \cdot k_2} \right]. \quad (7)$$

Коэффициент концентрации напряжений в призабойной зоне пласта k_3 (отношение максимальных напряжений $\sigma_{в.маx}$ к начальным напряжениям γH) будет равен:

$$k_3 = \frac{E(\Delta m - L \cdot tga)}{\omega \cdot m \cdot \gamma \cdot H} + 1. \quad (8)$$

Из полученных уравнений следует, что протяженность зоны предельного состояния, величина максимальных напряжений в пласте и, следовательно, коэффициент k_3 , зависят от мощности пласта, ширины выработки, упругих и прочностных свойств угля. При постоянных свойствах пласта напряженное его состояние определяется величиной сближения почвы и кровли Δm . Так как угол α зависит от физико-механических свойств вмещающих пород и от способа управления горным давлением, то от этих показателей зависит и напряженное состояние пласта. Величина угла α является довольно стабильной для определенных горно-геологических условий и используется для характеристики поведения пород кровли. Поэтому предположение о поступательном перемещении плоскости кровли в процессе сближений является достаточно оправданным, особенно для прочных пород, вмещающих выбросоопасные пласты.

Результаты шахтных и аналитических исследований показывают, что коэффициент концентрации напряжений изменяется в различных условиях в широких пределах и может возрастать до 10. Таким образом, нет никаких оснований считать коэффициент k_3 величиной для всех случаев постоянной из-за случайного распределения мест максимумов напряжений.

Из уравнений (6) и (8) следует, что величины $\sigma_{в.маx}$ и k_3 зависят от величины сближения почвы и кровли и могут возрастать неограниченно с увеличением последних. В то же время, если пласт способен в условиях всестороннего сжатия воспринимать любые нагрузки,

то вмещающие породы, передающие нагрузки на пласт и работающие в условиях изгиба, обладают ограниченной несущей способностью.

При увеличении напряжений свыше предела, соответствующего несущей способности пород, породы разрушаются, и пласт освобождается от значительной части нагрузок. Таким образом, максимальные значения величин $\sigma_{в. max}$ и k_3 ограничиваются несущей способностью пород.

На выбросоопасных пластах Донецкого бассейна наблюдались многочисленные случаи отсутствия сближений при продвижении выработки, и случаи ударообразных, значительных по величине, сближений.

Очевидно, что неравномерность сближений вызывает такую же неравномерность напряженного состояния призабойной зоны пласта.

При уменьшении сближений уменьшается протяженность зоны предельного состояния и напряженность призабойной зоны, причем при задержках сближений наблюдалось даже полное отсутствие зон отжима и концентрации напряжений. Уменьшение протяженности зоны предельного состояния в период зависания пород кровли в лаве установлено также сейсмоакустическими наблюдениями за состоянием горного массива в очистных забоях при разработке пологих пластов. Протяженность зоны предельного состояния при отсутствии сближений кровли и почвы можно найти из выражения:

$$L_{з.нр.с} = \frac{1}{\varphi} \cdot \ln \frac{\gamma \cdot H}{k_1 \cdot k_2}. \quad (9)$$

Согласно уравнениям (5) и (8) уменьшаются значения $\sigma_{в. max}$ и k_3 .

При уменьшении или полном отсутствии сближений боковых пород и соответствующем уменьшении протяженности зоны отжима, ухудшаются условия дегазации призабойной зоны, а газовое давление достигает высоких значений на малом удалении от кромки пласта в так называемой зоне разгрузки в предельно-напряженной зоне впереди очистного забоя. Это создает благоприятные условия для возникновения газодинамических явлений, в том числе и внезапного выброса угля и газа.

Таким образом, предложенный способ описания напряженного состояния пласта в зоне влияния выработок позволяет объяснить некоторые наблюдаемые на практике явления и может быть использован при разработке мер борьбы с динамическими явлениями на угольных шахтах.

Список литературы

1. Топчий С.Е., Шлюпкин Н.Н., Гребенкина А.С., Костенко А.В. Геомеханические основы безопасной отработки угольных месторождений // Эколого-технологические проблемы безопасной отработки угольных месторождений. – Донецк: ДонНТУ, 2004. – С. 90-125.
2. Гребенкин С.С., Пилюгин В.И., Гребенкина А.С., Жулидов С.Г. Аналитическая оценка напряженного состояния угольного массива в призабойной зоне угольного пласта // Изв. Донецкого горного ин-та. – 2002. – №2. – С. 74-77.
3. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. – М.: Недра, 1980. – 380 с.