

Изд-во МГГУ. 2004. – 54 с.

2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – Макеевка–Донбасс: МакНИИ, 1989. – 319 с.

3. Александров Б. А. Горные машины и оборудование: метод. указания по выполнению курсового проекта/ Б.А. Александров, Ю.А. Антонов, С.А. Показаньев, А.М. Цехин; КузГТУ. – Кемерово, 2006. – 35 с.

□ Авторы статьи:

Колмаков
Владислав Александрович
- докт. техн. наук, проф. каф. аэрологи-
гии, охраны труда и природы
КузГТУ
Email: kva.aotp@kuzstu.ru

Чередниченко
Мария Владимировна
- старший преподаватель каф. аэрологи-
гии, охраны труда и природы
КузГТУ
Email: chmv.aotp@kuzstu.ru

УДК 622.023

Г.В. Широколов

ОЦЕНКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Методы изучения геомеханического состояния подготовительных выработок, под которым имеется в виду напряженно-деформированное состояние пород, оценка устойчивости выработки, а также расчеты давления на крепь можно разделить на три направления: экспериментальное, экспериментально-аналитическое и аналитическое (численное).

Результатом экспериментальных исследований являются эмпирические (регрессионные) зависимости, определяющие конвергенцию почвы и кровли выработок, давление на крепь, радиусы зоны разрушения в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий [1, 2]. Несмотря на необходимо большой объем натуральных замеров, названные факторы не являются прогностическими для других, отличных от при-

веденных условий.

Экспериментально-аналитические исследования позволяют существенно сократить объем натуральных исследований и получить более широкую информацию. Однако область полученных при этом результатов в большинстве случаев остается также ограниченной.

Аналитические методы горной геомеханики, учитывающие основные закономерности и влияющие на процесс факторы, позволяют количественно или хотя бы качественно прогнозировать проявления горного давления даже в неизученных горно-геологических условиях для перспективных технологических схем выемки угля. Геомеханические процессы в окрестности подготовительных выработок логично разделить на две группы. К первой группе относятся методы опре-

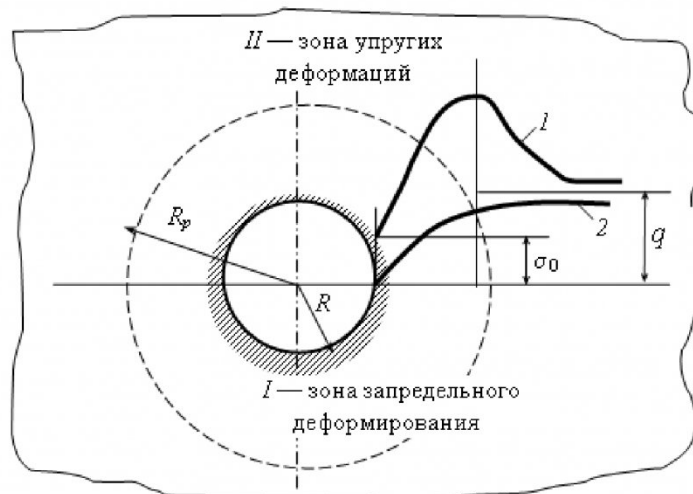


Рис. 1. Эпюры напряжений в окрестности выработки: 1 — кривая максимальных сжимающих напряжений σ_{\max} ; 2 — кривая минимальных сжимающих напряжений σ_{\min} .

деления зоны разрушения пород вокруг выработки и давление на крепь, не учитывающие взаимовлияние крепи и массива горных пород. Классическим примером является метод проф. М.М. Протодьяконова. Вторая группа аналитических методов учитывает взаимовлияние крепи и пород, что представляет несомненное преимущество для более точного анализа геомеханического состояния.

Анализ результатов этих исследований показал, что учет запредельных свойств горных пород позволяет описать явление повышенной объемной деформации пород в окрестности подготовительной выработки (разрыхление, дилатансию) и наряду с расчетом давления на крепь и ее смещений оценить устойчивость выработки.

Вместе с тем, следует отметить сложность этих решений, обусловленную сложностью самой проблемы, связанной с определением параметров аппроксимации для конкретных условий.

Чтобы определить смещения в подготовительной выработке, необходимо прежде всего установить размер зоны запредельного состояния вокруг нее. Эта задача наиболее просто решается для выработки круглого поперечного сечения в гидростатическом поле напряжений. Такая постановка вопроса является приемлемой для практики, во-первых, потому что решение задачи имеет смысл, если неупругая область является значительной, и в этом случае, как показали расчеты С.Б. Колоколова [3], она по форме и размерам одинакова для трапециевидной, квадратной, арочной или равновеликой круглой выработки, а во-вторых, потому что наиболее вероятным является гидростатический закон распределения напряжений в нетронутом массиве. Последнее утверждение основано на том факте, что при формировании горных пород в них существовало гидростатическое поле напряжений, а к этому состоянию горный массив стремится при любом ином поле напряжений. Примем составляющую массива равной q .

На рис. 1 показаны принятые нами обозначения.

Здесь R_p — радиус зоны запредельного деформирования (зона I), кривая 1 соответствует максимальным сжимающим напряжениям (σ_θ), а кривая 2 - минимальным (σ_r). Зона II является зоной упругих деформаций.

На границе зон I и II реализуется предельное состояние. Совокупность этих граничных точек формирует цилиндрическую поверхность, внутри которой находится зона запредельного состояния.

Предположение о малости зоны предельного состояния основано на следующем.

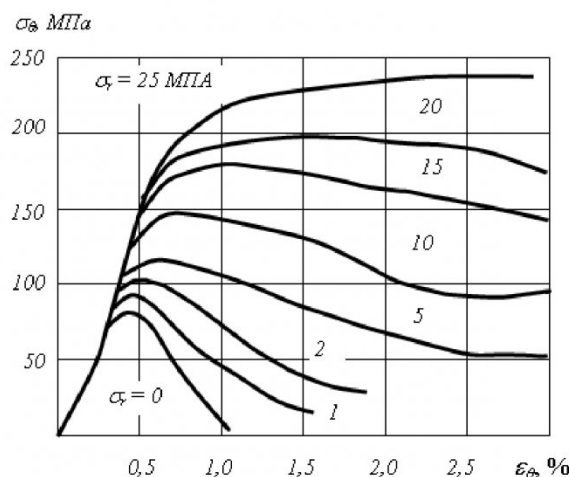


Рис. 2. Графики деформирования породы при различном боковом давлении

На рис. 2 представлены зависимости между максимальными напряжениями σ_θ и деформациями ϵ_θ . Вид кривой зависит от минимального напряжения σ_r . Характер этих кривых одинаков: после стадии упругого деформирования напряжение достигает своей предельной величины в вершине кривой и соответствует максимальному напряжению на предельном круге Мора, затем наступает стадия спада до некоторой остаточной прочности. Остаточная прочность возрастает с ростом минимального главного напряжения σ_r и

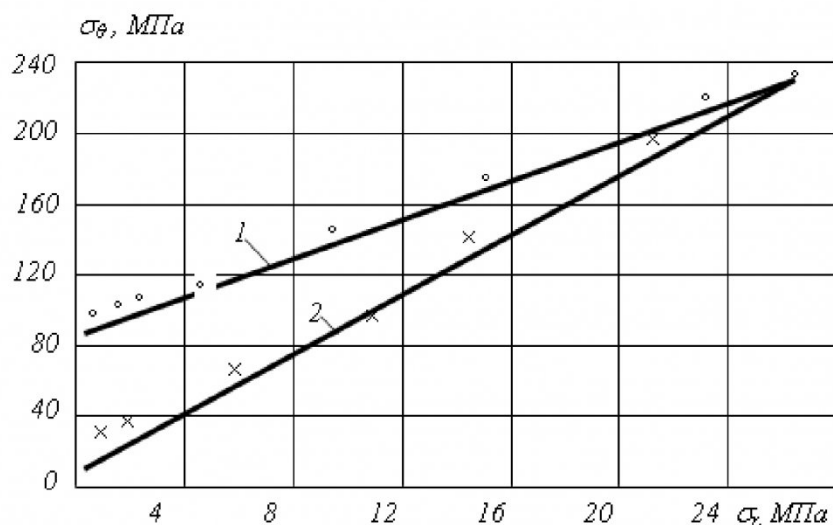


Рис. 3. Связь между главными напряжениями в предельном (1) и запредельном (2) состояниях

приближается к напряжению, соответствующему предельному кругу.

Не вызывает сомнений, что на границе зон I и II точки находятся в предельном состоянии и соответствуют вершине какой-либо кривой с деформацией $\varepsilon_0^{пр}$ (см. рис. 2). С перемещением от этой границы к контуру выработки напряжения σ_θ и σ_r уменьшаются, а деформация ε_θ возрастает, поэтому напряженное состояние во всей зоне I будет соответствовать запредельному.

Таким образом, вырисовывается определенная картина изменения напряжений в запредельной зоне.

Если выработка не подкреплена, то на контуре напряжение равно остаточной прочности при одноосном сжатии, а в случае возникновения отпора p со стороны крепи — остаточной прочности при этом отпоре.

С удалением от контура в глубь зоны I главные напряжения растут непрерывно до предельных на границе между зонами I и II. Связь между этими напряжениями в осях σ_r и σ_θ будет выражаться в виде непрерывной линии. В дальнейшем в основу решения задачи положено предположение, что эта связь является линейной.

Это предположение не противоречит экспериментальным данным. На рис. 3 приведены зависимости между главными напряжениями, построенные на основании кривых деформирования мрамора при различном боковом давлении [3].

Точками нанесены главные напряжения, соответствующие предельному состоянию, а крестиками — остаточной прочности. Обе совокупности вполне удовлетворительно располагаются на двух

связи между главными предельными напряжениями. Из графика следует, что связь между главными напряжениями, характеризующими остаточную прочность, может быть принята также линейной.

На рис. 4 представлены зависимости остаточной прочности от минимального напряжения для песчаника (1) и гранита (2), построенные на основании экспериментальных данных, полученных в работе [4]. Крестиками отмечены результаты ис-

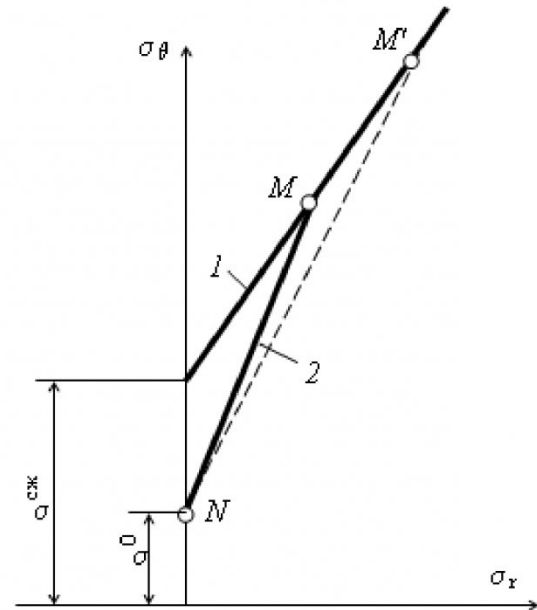


Рис. 5. Связь между главными напряжениями в окрестности выработки

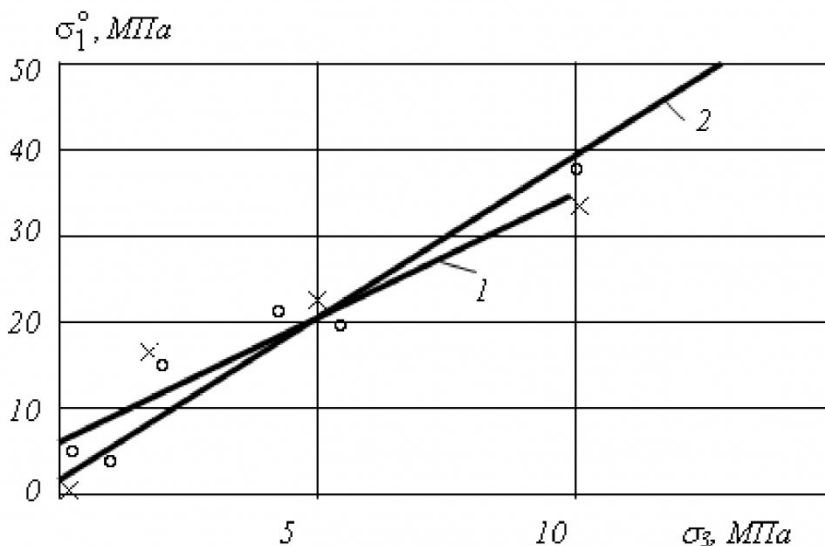


Рис. 4. Зависимость остаточной прочности от минимального напряжения для песчаника (1) и гранита (2)

пересекающихся прямых. Известно, что в области сжимающих напряжений предельную огибающую кругов Мора можно аппроксимировать прямой линией. И это будет соответствовать линейной

пытаний песчаника, а точками — гранита. Приведенные графики свидетельствуют о приемлемости аппроксимации зависимости остаточной прочности от минимального напряжения в виде прямой

линии. Это подтверждается и результатами экспериментов [5- 8].

Таким образом, в зоне запредельного состояния связь между главными напряжениями может быть принята в следующем виде:

$$\sigma_{\theta} = K\sigma_r + \sigma_0, \quad (1)$$

где K — некоторый угловой коэффициент; σ_0 — остаточная прочность при осевом сжатии.

На границе зон I и II (рис. 1) реализуется предельное состояние. Для прямолинейной огибающей предельных кругов Мора связь между главными напряжениями в этом состоянии имеет следующий вид:

$$\sigma_{\theta} = C\sigma_r + \sigma_{сж}, \quad (2)$$

где $\sigma_{сж}$ — предел прочности на одноосное сжатие, а коэффициент C связан с углом внутреннего трения ρ соотношением $C = (1 + \sin \rho) / (1 - \sin \rho)$.

На рис. 5 зависимость (2) представлена прямой I . Напряженному состоянию точек на границе зон I и II для определенного поля напряжений с составляющей q соответствует некоторая точка M

на этой прямой. Эта граница представляет собой цилиндрическую поверхность, внутри которой напряжения уменьшаются с приближением к контуру выработки. На контуре же напряжение равно остаточной прочности σ_0 при одноосном сжатии. На рис. 5 это соответствует точке N . С удалением от контура в глубь зоны I главные напряжения растут и связь между ними будет выражаться в виде непрерывной линии между точками N и M , которая согласно (1) принимается в виде прямой.

Величина коэффициента K зависит от положения прямой I , т.е. от параметров огибающей предельных кругов Мора, а также от составляющей q массива. С ростом напряжений в массиве до некоторой величины q' точка M переместится вверх и займет соответствующее положение M' , в связи с чем уменьшится и величина коэффициента K .

Таким образом, коэффициент K в выражении (1) является параметром, характеризующим состояние массива в окрестности выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черняк И.Л. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт / И.Л. Черняк, Б.И. Бурчаков. — М.: Недра, 1984. — 304 с.
2. Якоби О. Практика управления горным давлением. — М.: Недра, 1987. — 566 с.
3. Карташев Ю.М. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташев, Б.В. Матвеев, Г.В. Михеев, А.Б. Фадеев. — М.: Недра, 1979. — 269 с.
4. Ставрогин А.Н. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах / А.Н. Ставрогин, А.Г. Протосеня. — М.: Недра, 1985. — 272 с.
5. Клыков А.Е. Влияние прочностных свойств горных пород на устойчивость выработок / Клыков А.Е., Волков В.М., Широколов Г.В. // Научно-технические проблемы подземной разработки месторождений: Межвуз. сб. научн. тр. — Кемерово: Кузбасс. политехн. инст. — 1991. — С. 49-54.
6. Клыков А.Е. Испытание на сжатие низких цилиндрических образцов горных пород / Клыков А.Е., Глазков Ю.Ф., Соболев Ю.П., Широколов Г.В. // Совершенствование технологии строительства горных предприятий: Сб. науч. тр. — Кемерово: КузГТУ, 1994. — С. 135-142.
7. Клыков А.Е. Определение параметров огибающей кругов Мора при испытании низких цилиндрических образцов / Клыков А.Е., Соболев Ю.П., Широколов Г.В. // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: Материалы III Международной практической конференции. Секция "Уголь и углепродукты". — Кемерово, 1997. — Ч. 1. — С. 73-75.
8. Широколов Г.В. Результаты испытаний образцов горных пород в условиях объемного напряженного состояния / Широколов Г.В., Соболев Ю.П., Клыков А.Е. // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. — Кемерово, 1999. — №4. — С. 17-19.

□ Автор статьи:

Широколов
Георгий Валентинович
- канд. техн. наук, до-
цент каф. "Сопротивление мате-
риалов" КузГТУ,
тел. 8(3842)39-63-27.