

УДК 622.016.222

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КРУТОПАДАЮЩЕГО ГОРНОГО МАССИВА МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭКВИВАЛЕНТНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Хламов Д. М.

(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Стаття присвячена дослідженню закономірностей зміни пружного стану гірського масиву при щитовому способі відпрацювання крутих пластів.

The article deals with research into regularities of redistribution of stresses in rock mass during shield mining of steep seams.

По мере подвигания очистных забоев в горном массиве вокруг выработки происходит перераспределение напряжений, что в свою очередь приводит к образованию зон различной концентрации напряжений (зон повышенного горного давления и зон разгрузки). Зоны повышенного горного давления (ПГД) являются источниками повышенной опасности возникновения различных динамических и газодинамических явлений, в них снижается устойчивость горных выработок. В зонах разгрузки уровень напряжений меньше, чем в нетронутом массиве, что обеспечивает устойчивость выработок, а вероятность возникновения газодинамических и динамических явлений снижается, а иногда и исчезает вовсе. Таким образом, точное определение границ существующих зон ПГД и зон разгрузки, а особенно тех, которые образуются в будущем – это один путей повышения безопасности труда на горных предприятиях и снижения себестоимости их продукции, за счет уменьшения расходов на поддержание выработок и ликвидацию аварий.

Прогноз изменения напряженно-деформированного состояния горного массива в процессе ведения горных работ является одной из наиболее актуальных и одновременно наиболее сложных проблем в геомеханике. Причем сложность данной проблемы обусловлена, прежде всего, невозможностью получения данных непосредственно из массива горных пород о его состоянии без нарушения целостности указанного массива (например: бурением скважин). Поэтому при исследовании напряженно-деформированного состояния горного массива приобретают первостепенное значение различные методы моделирования его поведения при ведении горных работ. Одним из таких методов является метод моделирования на эквивалентных материалах, эффективность которого была доказана еще в середине прошлого века [1-4], а теоретическое обоснование дано Г. Н. Кузнецовым [5].

Методами моделирования предполагалось выявить закономерности перераспределения напряжений в массиве горных пород при щитовом способе отработки крутых пластов, определение областей концентраций напряжений и дальности взаимного влияния горных работ на различных пластах в свите.

Для исследования были закатаны 3 модели со следующими основными параметрами:

- масштаб модели М 1:300;
- верхняя граница очистной выработки на глубине 600 м;
- угол падения пород $\alpha = 60^\circ$;
- два угольных пласта мощностью 1 м;
- мощность междупластья 60 м;
- в составе пород междупластья:
 - первая модель – 60 % песчаников;
 - вторая модель – 40 % песчаников;
 - третья модель – 20 % песчаников.

На рис. 1 показан геологический разрез участка горного массива (модель 2) принятый в качестве объекта моделирования. Для остальных моделей приняты аналогичные разрезы, отличающиеся главным образом составом пород междупластья. Размер рабочего пространства стенда 78 см в высоту, 76 см ширину и 15,7 см в толщину, что с учетом масштаба 1:300 эквивалентно участку породной толщи приблизительно 200×200 м.

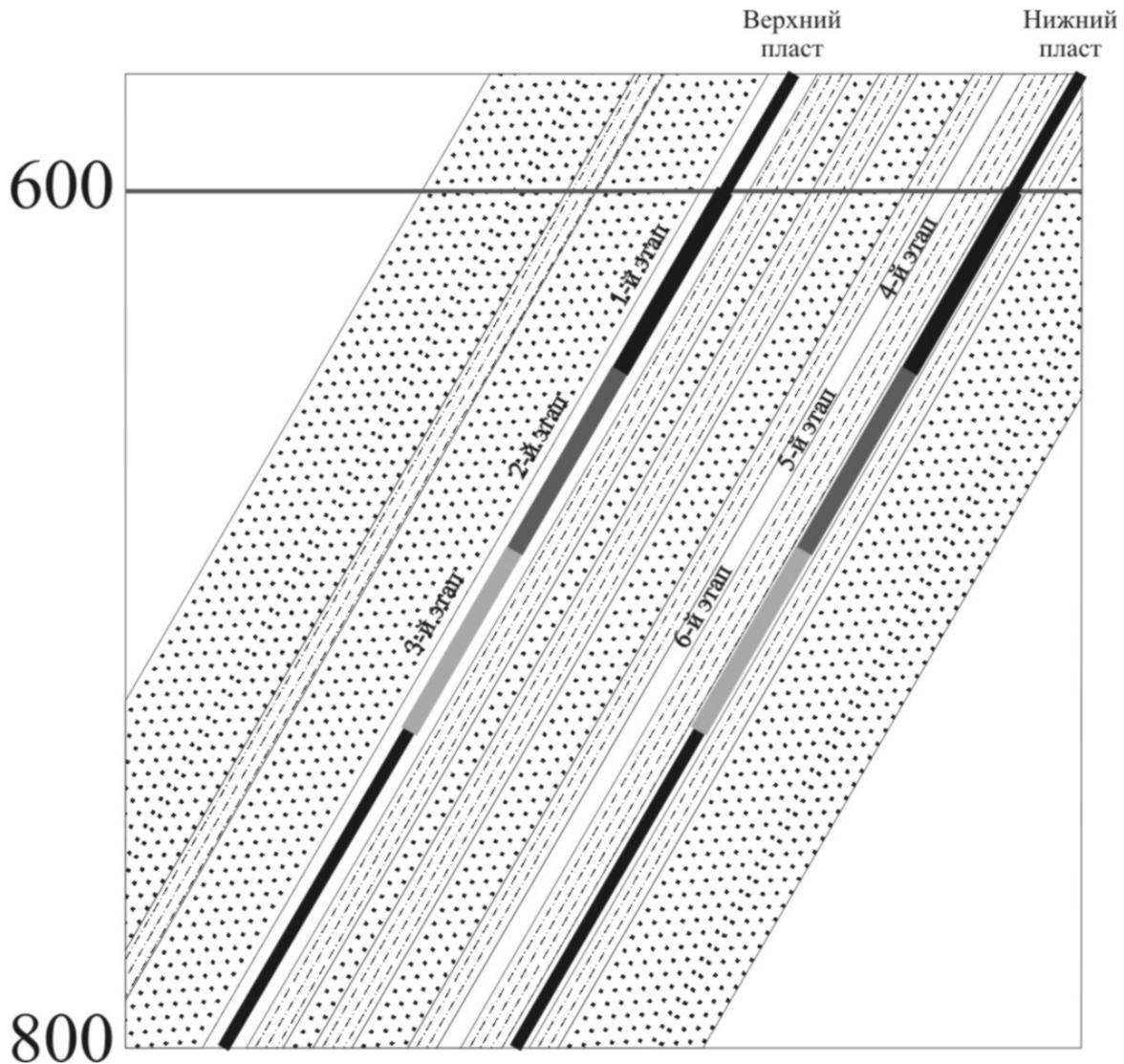


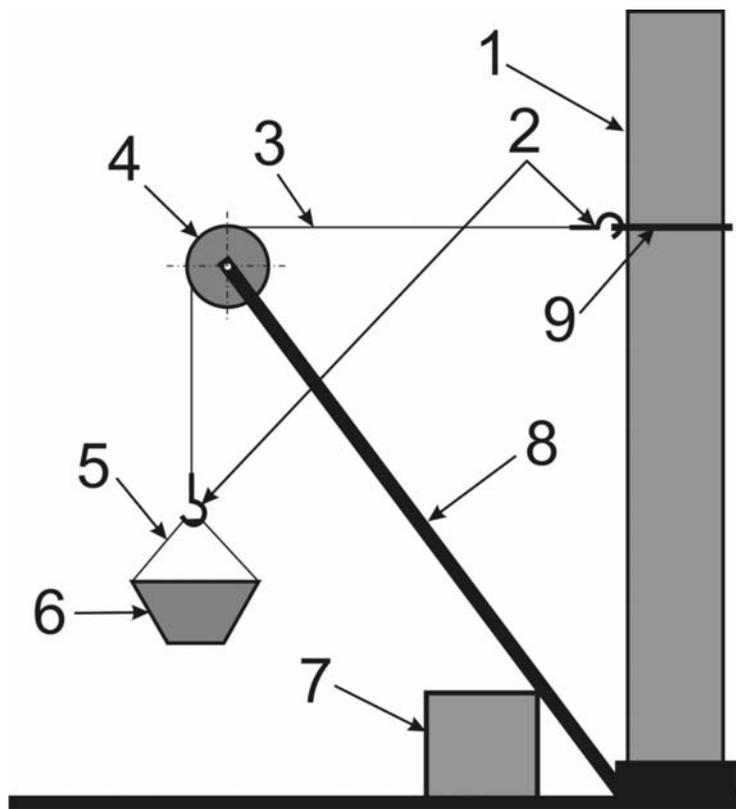
Рис. 1. Геологический разрез участка массива для второй модели (40 % песчаника в междупластье)

В каждую модель, при ее изготовлении, помещались 40 датчиков трения в четыре ряда по 10 шт., параллельно напластованию пород. Так как датчики трения при измерениях сами оказывают некоторое небольшое влияние на окружающий массив, чтобы исключить взаимное влияние их необходимо располагать на некотором расстоянии друг от друга и желательно под слоем имитирующем крепкую породу. В данном эксперименте датчики располагались таким образом, чтобы между их продольными осями было по 6 см.

Первая модель отрабатывалась в три этапа по 50 м, что в масштабе модели составляет 167 мм, т.е. имитировалась выемка

только верхнего пласта. Во второй и третьей моделях производилась выемка обоих пластов в нисходящем порядке, также в три этапа (см. рис. 1).

Измерения показаний датчиков производились на первой модели в четыре этапа. На нулевом этапе (нулевая серия измерений) определялись показания датчиков в нетронутом массиве, т.е. фиксировалось исходное напряженное состояние массива. Далее после каждого этапа выемки пласта производилась серия измерений с соответствующим номером. На второй и третьей моделях было произведено по семь серий измерений. Определение показаний датчиков производилось с помощью устройства показанного на рис. 2., т.е. результатом измерения является масса груза, необходимая для преодоления силы трения покоя внутри датчика.



1 – стенд с моделью; 2 – крючки из вольфрамовой проволоки; 3 – капроновая нить; 4 – шкив из капралона; 5 – стропы из капроновой нити; 6 – емкость для груза; 7 – упорный блок; 8 – кран-балка; 9 – датчик трения, заложенный в модель

Рис. 2. Схема измерительного устройства

Расчет значений для графических построений производился в следующем порядке. Так как показания каждого датчика во всех сериях производилось несколько раз, сначала вычислялось среднее значение из уравнения:

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{n} \sum \frac{1}{m_i}, \quad (1)$$

где m – среднее гармоническое;

n – количество определений показаний датчика в серии;

m_i – значения показаний датчика.

На следующем этапе вычислялись относительные разности в процентах между средними показаний датчиков по формуле:

$$D_{om} = \frac{(m_c - m_0) - (m_{uc} - m_0)}{m_{uc} - m_0} * 100, \quad (2)$$

где D_{om} – относительная разница давлений на датчик между исходным давлением (нулевая серия измерений) и давлением после имитации выемки любой части пласта;

m_c – среднее из показаний датчика в очередной серии измерений;

m_0 – масса груза необходимая для преодоления силы трения покоя внутри датчика при нулевой внешней нагрузке ($m_0 = 400$ гр.);

m_{uc} – значение, отражающее исходное состояние нетронутого массива, соответствует 0 %.

Для 1-3-й серий m_{uc} равно среднему из показаний датчика в нулевой серии измерений, для 4-6-й серий за m_{uc} принимается среднее из показаний датчика в 3-й серии. При таком методе расчета получаем возможность независимого построения изменений напряжений в массиве при отработки каждого из пластов в отдельности.

Построение изолиний напряжений производилось в программе Surfer v8, с применением метода интерполяции *Krigging*. Так как при проведении эксперимента, возможность измерений давления непосредственно на контуре выработки отсутствовала, то для построений были приняты следующие условные значения:

– в верхних угловых точках выработки 200 %;

- в нижних угловых точках выработки 100 %;
- точки на верхней поверхности выработки -50 %;
- точки на нижней поверхности выработки -100 %, что должно соответствовать полной разгрузке;
- точки на границе модели и стенда 0 %.

Результаты построения по данным эксперимента были сравнены с построенными защищенными зонами и зонами ПГД по действующим правилам [6]. На рис. 3 представлен график, построенный по данным второй серии наблюдений третьей модели (верхний пласт отработан на 100 м), с наложенными зонами ПГД и защищенной зоной, построенными по правилам [6].

На рис. 3 четко видно, что, полученный по результатам эксперимента, угол защиты δ_4 практически равен углу, определенному по [6], но угол δ_3 значительно отличается от нормативного. В таблице 1 приведены углы защиты определенные по [6] и полученные по результатам моделирования. Угол δ_2 по результатам эксперимента не определялся, так как в районе верхнего конца лавы нижнего пласта датчики не закладывались и полученные построения нельзя считать достаточно достоверными.

Таблица 1
Нормативные углы защиты [6] и полученные по результатам моделирования

УГЛЫ	Нормативные	1-я модель		2-я модель		3-модель	
		100 м	150 м	100 м	150 м	100 м	150 м
δ_1	72			44	47	37	40
δ_3	80	103	98	102	110,5	99	120
δ_4	70	70	60	64	64	58	47

По данным таблицы 1 можно сделать следующие выводы:

- 1) углы защиты δ , полученные по результатам эксперимента, отличаются от тех же углов определенных по таблице Л.2 правил [6];
- 2) по правилам [6] величины углов защиты зависят исключительно от угла падения пород, что опровергается, полученными

ми результатами, видна четкая зависимость углов защиты от прочностного состава пород.

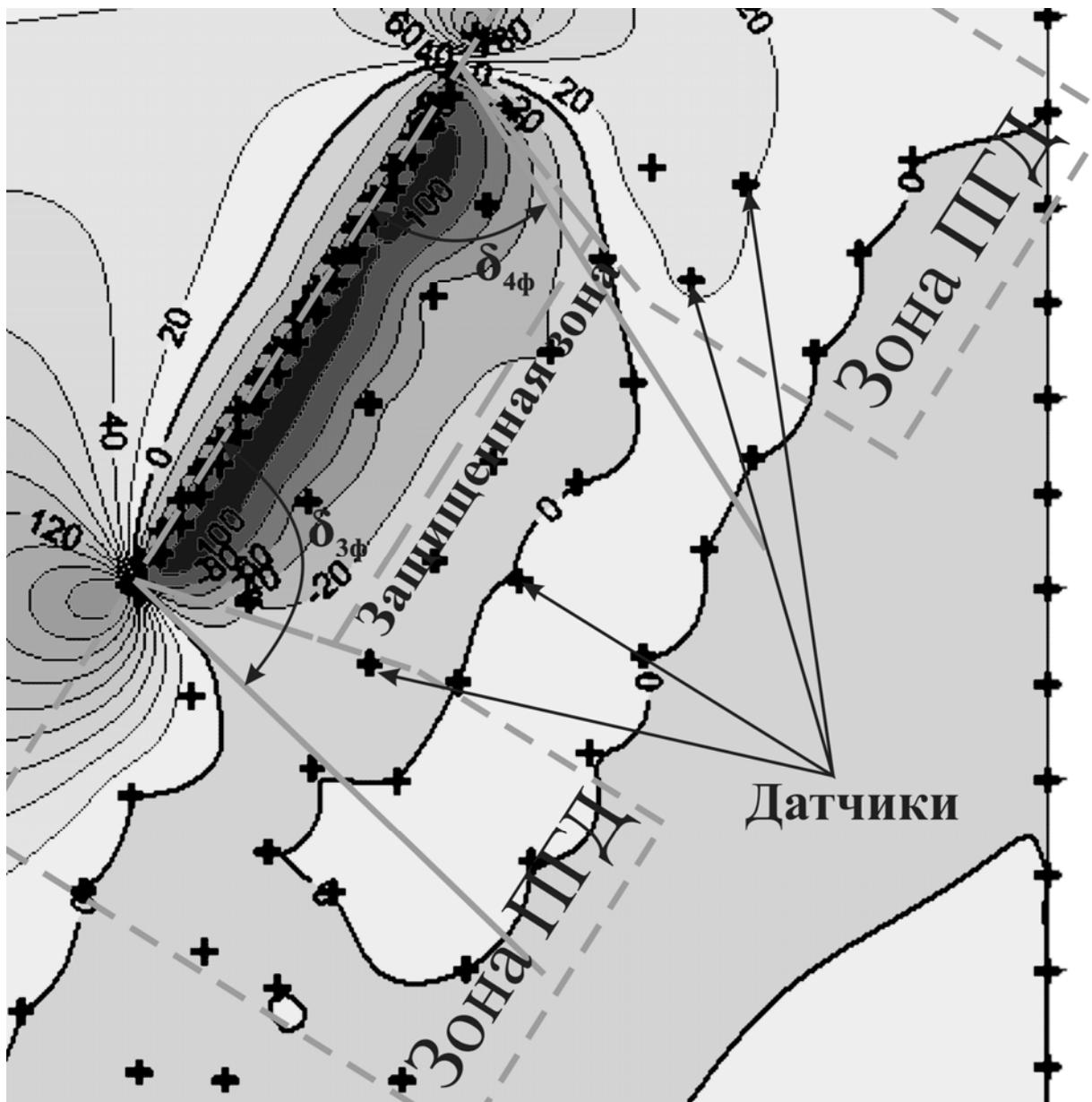


Рис. 3. График, построенный по данным второй серии наблюдений третьей модели (верхний пласт отработан на 100 м)

СПИСОК ССЫЛОК

1. Моделирование деформаций пород при подработке и надработке опасных по выбросам пластов: Технический отчет по

- работе № 17 / МакНИИ; рук. А.Е. Ольховиченко. – Макеевка, 1959. – 121 с.
2. Руппенейт К.В. Давление и смещение горных пород в лавах полого падающих пластов / К. В. Руппенейт – М.: Углетехиздат, 1957. – 288 с.
 3. Зоря Н.М. Об изменении смещений точек моделей из эквивалентных материалов / Н. М. Зоря // тр. ДИИ секц. маркшейд.-геодезич., т. 25, вып. 5. – Харьков: изд-во Харьковского гос. университета, 1959.
 4. Ильштейн, А.М. Исследования проявлений горного давления методом моделирования эквивалентными материалами / А.М. Ильштейн, М.Б. Брокмиллер, К.В. Руппенейт // вед. сб. Вопросы горного дела / тр. ВУГИ, сб. 10 – М.: Углетехиздат, 1953. – С. 75 – 86.
 5. Моделирование проявлений горного давления / Г.Н. Кузнецов, М.Н. Будько, Ю.И. Васильев и др. – Ленинград: Недра, 1968. – 280 с.
 6. Правила ведения горных работ на пластах, опасных по газодинамическим явлениям: СОУ 10.1.00174088.011-2005. – утв. Минуглепромом Украины 30.12.05. – Киев: Минуглепром Украины, 2005. – 224 с.