Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXI, вып. 1, 1972 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРУШЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТОГО МАССИВА ДЛЯ УСЛОВИЙ ХИБИНСКИХ АПАТИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Н. З. Галаев, В. Н. Крапивин

Излагаются методика и результаты лабораторных исследований процесса обрушения налегающих пород. Исследования выполнены в Ленинградском горном институте для условий разработки апатитовых месторождений Хибин, висячий бок которых представлен крепкими трещиноватыми породами.

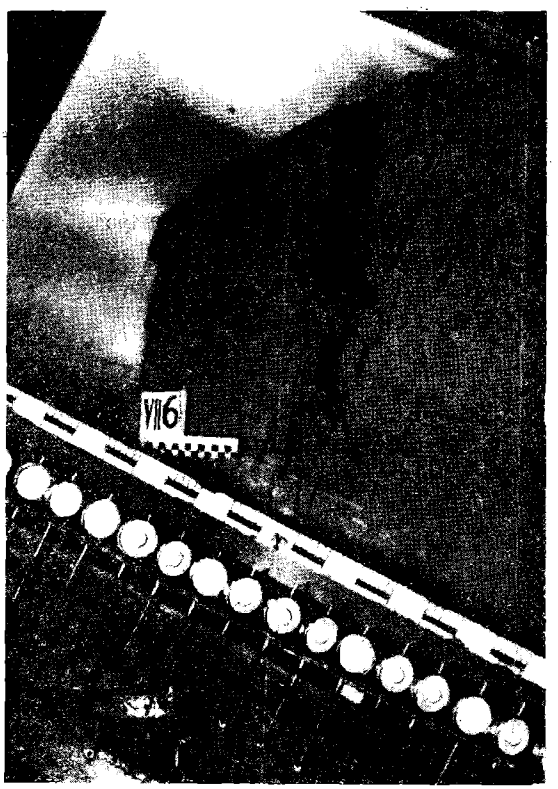


Рис. . Вид модели в процессе отработки

При изучении явлений, связанных с обрушением пород, в качестве основных физико-механических характеристик массива обычно принимают сопротивление пород отрыву $\sigma_{отр}$, сопротивление пород сдвигу $\sigma_{сдв}$, сцепление C и угол внутреннего трения ρ [6, 7].

Возможность воссоздания естественного ослабления массива трещиноватостью определяется масштабом моделирования. Модели в масштабе 1 300 размерами 2×2 *м* позволили исследовать отработку месторождения до глубины 500 *м*. Вид модели с измерительной аппаратурой показан на рис. 1.

Вопросы создания структурных ослаблений в массиве модели рас-

сматривались А. А. Борисовым [1], Г Н. Кузнецовым [3] и многими другими исследователями. А. А. Борисов [1] рекомендует для воспроизведения трещиноватости методы: разрезов, насечек, перекосов стенда, подработки, ускоренной сушки, комбинированные. А. В. Пашкевич и В. В. Голицын [6] предлагают для сохранения трещин вслед за нарезкой пересыпать их мелкомолотой слюдой.

Чтобы полнее приблизить массив модели к натуре, с помощью специальных шаблонов и резаков наносились две системы взаимно пересекающихся крутопадающих трещин, соответствующих выявленным в натуре; границы модели соответствовали направлению трещин третьей системы, а четвертая, согласная залеганию рудного тела, получалась при закатке слоев. Трещины наносились в тот промежуток времени, когда песчано-парафиновая смесь при остывании еще не успела схватиться. Заполнялись трещины мелким сухим песком.

Известно, что условия однозначности удовлетворяются при соблюдении определяющих критериев подобия. Чтобы обеспечить их, мы исходили из требования соответствия явлений, полученных на модели, явлениям в натуре. При этом пользовались методом последовательных приближений [1, 2]. Так было достигнуто подобие величины шага обрушения в модели и натуре при соответствующей мощности налегающей толщи и величине ее подработки. Благодаря этому методу удалось добиться учета влияния ослабления массива натуры трещиноватостью и окисленными зонами. Рецептура материала модели подбиралась в соответствии с методическими и теоретическими принципами моделирования [1, 3]. На основании пробных опытов был найден эквивалентный материал следующего состава: 92,25% кварцевого песку, 5% молотой слюды, 2,75% парафина.

Для определения $\sigma_{отр}$ в массиве модели осуществлялась подработка налегающей толщи до излома консольных зависаний последующим анализом результатов по предложенной С. Г Лехницким [4] и проверенной в работе [6] формуле

$$\sigma_{отр} = \gamma\left[-\frac{6x^2y}{b^2} + b\left(\frac{4y^3}{b^3} - \frac{3y}{5b}\right)\right],$$

где γ — объемный вес материала модели, *г/см*^{3}; b — высота консоли, *см*; x и y — координаты точки, в которой определяется напряженное состояние.

Обработка данных шести обрушений позволила найти среднее значение $\sigma_{отр} = 0{,}0126$ *кг/см*^{2} для массива модели.

Сцепление и угол внутреннего трения определялись на специально изготовленном срезном приборе. Размеры срезающих обойм (110×110 *мм*) выбирались с таким расчетом, чтобы в плоскость среза попадало не менее 12—15 структурных блоков, образованных взаимно пересекающимися системами трещин. В этом случае испытания в известной мере отвечают требованиям, предъявляемым к подобным испытаниям массива пород в натурных условиях [7]. Образцы вырезались из материала модели и при испытании ориентировались в соответствии с условиями нагружения в модели, т. е. направление срезывающей силы совпадало с направлением трещиноватости. Паспорт прочности массива модели с учетом ослабления трещиноватостью представлен на рис. 2.

Зная угол внутреннего трения, можно определить сцепление в массиве модели $C_м$ согласно методу, приведенному в работе [7]. Для этого

в оставшихся частях отработанной модели вырезались призмы с размером основания 15×15 *см*. Углы между плоскостью приложения нагрузки и плоскостью среза принимались 45, 55 и 65°; испытуемые части массива отделялись вертикальными щелями. По формуле, приведенной в работе [6], определялось сцепление по поверхности среза

$$C_м = \frac{N}{S}(\sin\alpha - \cos\alpha \operatorname{tg}\rho),$$

где N — приложенное усилие с учетом веса срезаемой призмы, *кг*; S — площадь среза, *см*²; α — угол среза, *град*; ρ — угол внутреннего трения, *град*.

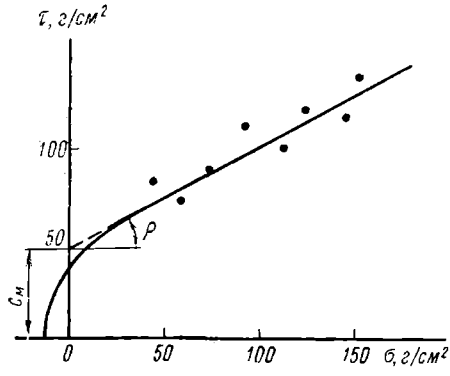


Рис. 2. Паспорт прочности массива модели

σ и τ — соответственно нормальное и касательное напряжения; ρ и $C_м$ — угол внутреннего трения и сцепление (для модели ρ = 27°; $C_м$ = 49 *г/см*²)

Результаты выполненных испытаний по подбору механических характеристик массива модели хорошо видны при сопоставлении материалов *:

	Моделируемая порода (рисчоррит)	Эквивалентный материал
Объемный вес γ, *т/м*³	2.8	1,6
Сопротивление отрыву $\sigma_{отр}$, *кг/см*²:		
в куске	11,0	0,36
в массиве	3,9—6,3	0,010—0,015
Сцепление, *кг/см*²:		
в куске $C_к$	33	0,115
в массиве $C_м$	11,1	0,05
Угол внутреннего трения ρ, *град*	36	27
Коэффициент структурного ослабления	0,37	0,42

В результате такой методики изготовления моделей удалось создать массив, обладающий структурным ослаблением, близким к натуре, что дало возможность достигнуть подобия моделей натуре и использовать результаты моделирования для оценки явлений с качественной и количественной сторон.

Анализом многочисленных случаев обрушений пород висячего бока Кукисвумчоррского месторождения установлено, что они имеют вытянутую в плане форму. Для 90% обрушений отношение длины обрушенной зоны к ее ширине изменяется от $\frac{3}{1}$ до $\frac{8}{1}$. Это дает основание рассматривать достаточно удаленные от флангов обрушения сечения как находящиеся в плоскодеформированном состоянии, а при постановке лабораторных исследований по определению закономерностей обрушения вполне правомерно применять плоские модели [3].

* При масштабе моделирования 1 : 300.

На таких моделях изучался механизм самообрушения пород налегающей толщи, определялись параметры обрушения в зависимости от глубины разработки, выявлялись закономерности взаимодействия рудного массива с налегающими породами при их подработке. Модели отрабатывались последовательной выемкой рудного тела вкрест простирания с учетом масштаба времени (деформации ползучести при моделировании учесть не представлялось возможным). Величины опорного давления на рудный массив фиксировались датчиками механического и индукционного типов, деформации массива — индикаторными головками часового типа с точностью шкалы 0,005 *мм*.

По мере отработки модели наблюдались последовательные этапы развития обрушения. При мощности налегающих пород 150—200 *м* обрушения происходили в форме раскрытия трещины по поверхности и развития ее согласно с нанесенной в модели трещиноватостью. При увеличении мощности налегающих пород до 250—300 *м* и более наблюдалось закалывание массива по поверхности с некоторым опережением относительно контура подработки. Процесс обрушения протекал в следующей последовательности: при достижении определенной величины подработки вкрест простирания появлялась трещина на поверхности, которая распространялась в вертикальном направлении, не согласуясь с нанесенной в модели трещиноватостью. После распространения трещин на глубину до $(^1/_3 \div ^1/_4)$ H зависающий массив сдвигался по поверхности, почти совпадающей с направлением трещин (см. рис. 1).

Характер явлений, полученных на моделях, совпадает с развитием процесса обрушения в натурных условиях [5]. Проведенными ранее ВНИМИ производственными наблюдениями было установлено, что начало сдвижения земной поверхности всегда сопровождается появлением трещин, а после раскрытия их наступает период интенсивных перемещений отколовшихся частей массива.

Сравнение результатов натурных данных и лабораторных экспериментов по определению величины шага обрушения в зависимости от мощности налегающих пород (рис. 3) в сопоставимом диапазоне глу-

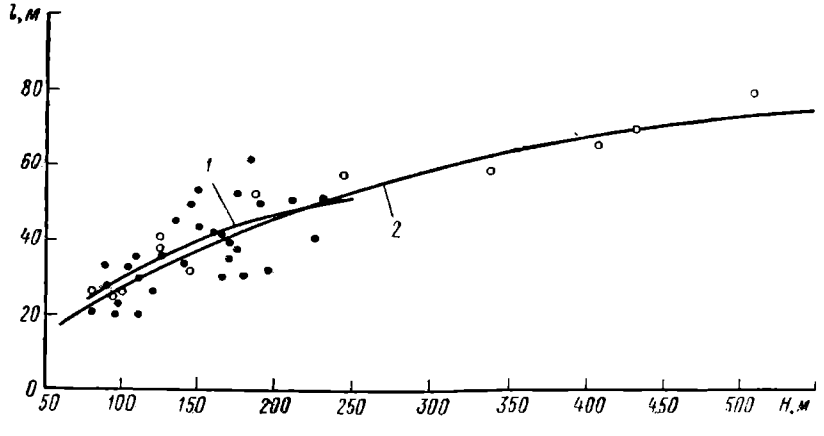


Рис. 3. Зависимость шага обрушения от мощности налегающей толщи
1 и *2* — соответственно по данным практики моделирования

бин показывает достаточную сходимость. Это позволяет использовать результаты моделирования для прогнозирования величины шага обрушения.

Изложенная методика моделирования трещиноватого массива для условий апатитовых месторождений может быть применена в дальнейшем для исследования закономерностей поведения горного массива и распределения давления в связи с новыми задачами, которые возникают при разработке нижних горизонтов. Ее можно также использовать для моделирования отработки других месторождений, представленных трещиноватыми рудами и породами.

ЛИТЕРАТУРА

Борисов А. А. *Расчеты горного давления в лавах пологих пластов.* Недра, 1964.

2. Городецкий П. И. Разработка рудных месторождений. Госгортехиздат, 1962.

3. Кузнецов Г Н. и др. Моделирование проявлений горного давления. Недра, 1968.

4. Лехницкий С. Г. Анизотропные пластинки. Гостехиздат, 1947.

5. Нестеренко Г Т., Борейко Ф. И. Дистанционные наблюдения за сдвижением земной поверхности в условиях апатитового рудника им. С. М. Кирова. В сб. «Вопросы технологии разработки рудных месторождений Кольского полуострова». АН СССР, 1963.

6. Пашкевич А. В., Голицын В. В. К вопросу о моделировании трещиноватого массива. Сб. ВНИМИ, № 51, 1964.

7. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. Недра, 1965.