

## ЛЕКЦИЯ № 17

**Модуль 3.** Напряженно-деформированное состояние массива горных пород  
Раздел 8. Моделирование геомеханических процессов в массиве горных пород  
Тема 11. Моделирование геомеханических процессов

## План лекции

1. Моделирование геомеханических процессов.
2. Методы моделирования.

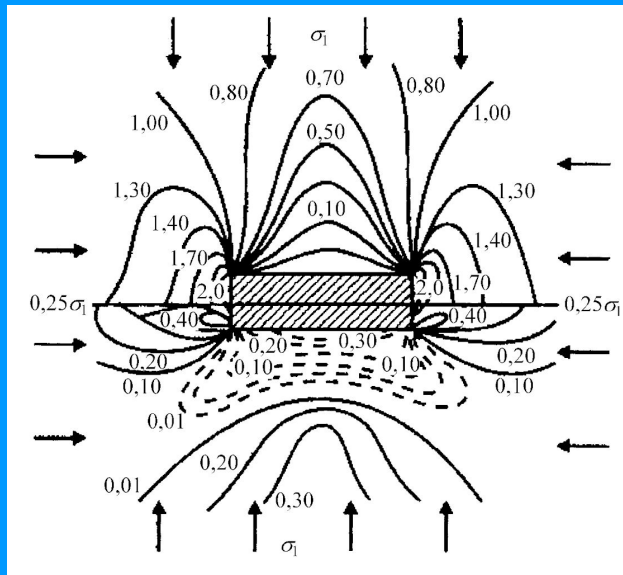
## Метод эквивалентных материалов.

Моделирование методом ЭМ основано на замене естественных горных пород такими искусственными материалами, показатели физико-механических свойств которых находятся в определенных соотношениях с аналогичными показателями тех же свойств пород природы. Эти соотношения определяются на основании общих положений теории механического подобия. МЭМ позволяет воспроизводить в модели различное строение толщи пород и полезного ископаемого и осуществлять в достаточном приближении к натуре производство всех основных горнотехнических операций по проведению и креплению выработок.

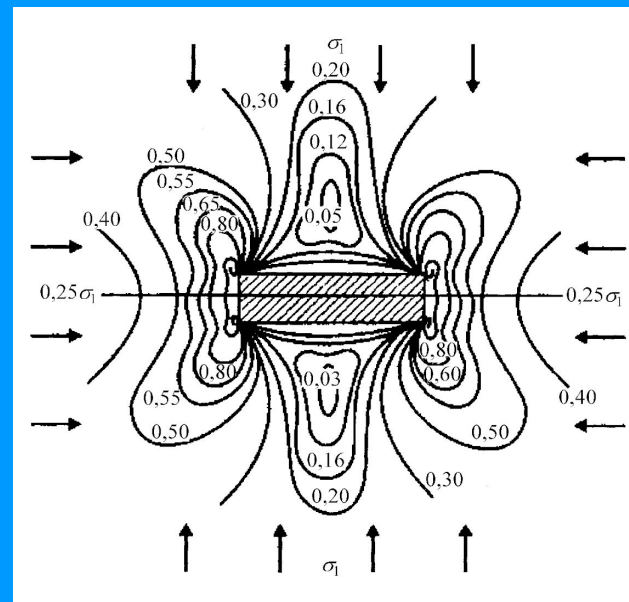
## Поляризационно-оптический метод.

Этот метод исследования напряжений позволяет изучать поля напряжений (деформаций) в плоских и объемных прозрачных материалах, подобных по форме и нагрузке исследуемым объектам путем просвечивания моделей поляризованным светом. Теоретическим обоснованием применения фотоупругих моделей из оптически чувствительных материалов для моделирования статических состояний и медленных процессов в горной геомеханике служат положения математической теории упругости и теории подобия.

а)



б)



Изолинии напряжений вокруг прямоугольной выработки:  
а – главных нормальных; б – максимальных; на изолиниях даны значения коэффициента  $K$

## Метод центробежного моделирования

Метод заключается в замене гравитационных сил инерционными, создаваемыми в модели в результате ее вращения в каретке центрифуги. В принципе метод позволяет моделировать объемное напряженно-деформированное состояние (НДС) пород вокруг выработок как в упругой области, так и за ее пределами.

При центробежном моделировании также крайне затруднительно, а иногда и совсем невозможно воспроизводить слоистые толщи разнородных по составу и свойствам пород. Большие технические трудности представляет и воспроизведение в модели перемещения забоя во времени, что ограничивает область эффективного применения данного метода, поэтому в ряде случаев возникает необходимость обращения к другим методам моделирования.

## КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ УДАРОВ

Все горные удары можно классифицировать в зависимости от способа приложения вызывающей удар нагрузки, количества выделяющейся сейсмической энергии в результате происшедшего удара и мест его возникновения.

По характеру прилагаемой нагрузки к удароопасным участкам горных пород различают следующие удары.

1. Удары давления. Они происходят в результате постепенного перенапряжения пород и превышения предела прочности пород на сжатие. Такие удары характеризуются взрывоподобным разрушением отдельных участков массива горных пород (целиков, краевых зон, очистных забоев).

2. Импульсные ("шоковые") удары. Возникают в случае кратко временного приложения нагрузки к перенапряженному участку массива. В качестве примеров таких ударов можно привести мгновенное обрушение обнажений крепких пород при достижении предельного пролета или перенапряженных целиков, когда их размеры минимальны.

По величине выделяющейся сейсмической энергии, которую можно характеризовать степенью разрушения горных выработок и воздействием на окружающий массив, крепь, горное оборудование, горные > разделяются следующим образом:

1. Микроудар (шелушение, стреляние, толчки). Характеризуется локальными разрушениями породы на контуре выработки или в глубине массива при небольших энергетических характеристиках. Признаками шелушения является отделение тонких пластинок горной пород боков или кровли выработки, стреляние - хрупким разрушением отскакиванием отдельных кусков породы от поверхности забоя или выработки, сопровождаемых резким звуком, а толчки — местным разрушением породы в глубине массива без выброса ее в выработку, сотрясением массива и глухим звуком с воздушной волной.
2. Слабый горный удар. Отличается от микроудара не только местным разрушением, но и выбросами породы в выработки, сопровождаемыми как звуковым, так и сейсмическим эффектами. При этом не наблюдается существенных повреждений крепи и оборудования.
3. Средний горный удар. В результате такого удара происходят разрушения и выбросы значительных объемов породы (или полезного ископаемого) в выработку, вызывающие воздушную волну, нарушение крепи, завалы выработок на протяжении нескольких метров, смещение и передвижение машин и оборудования, находящихся на пути воздушной волны.
4. Сильный горный удар. Вызывает значительные разрушения крепи и завалы выработок на длине в несколько десятков метров. Восстановительные работы требуют больших затрат.
5. Катастрофические горные удары. Характеризуются цепной реакцией разрушений целиков и выработок в пределах участка, горизонта или шахтного поля, в результате чего нарушенные площади достигают сотен тысяч квадратных метров, а восстановительные работы становятся невозможными.

Первая классификация горных ударов на угольных шахтах по энергетическому признаку была предложена С.Г. Авершиным.

Подобные классификации по фактору воздействия горного удара на окружающие породы и горные выработки имеются на зарубежных рудниках.

На рудниках "Колар" (Индия) горные удары разделяют по сейсмическому эффекту: легкие - амплитуда колебания сейсмографа 1 мм средние - от 1 до 10 мм; сильные — более 10 мм.

На рудниках "Витватерсранда" (Южная Африка) силу горных ударов оценивают по числу дней, необходимых для восстановительных работ в забое после горного удара: легкий — потеряно до 4 бурильных смен, средний - от 5 до 10; тяжелый — свыше 10.

Более точная классификация горных ударов по сейсмическому воздействию предложена И.А. Турчаниновым.

Горные удары по месту их возникновения или топологическому фактору классифицируются следующим образом:

в целиках (междукамерных, междуэтажных, внутри забойных);

в краевых зонах массива (на фронте очистной выемки в полезном ископаемом или в подготовительных выработках);

в местах тектонических нарушений;

в капитальных выработках (стволах, квершлагах, штольнях, около-ствольных камерах и др.).



## МЕХАНИЗМ ГОРНОГО УДАРА

Крепкие горные породы, склонные к горным ударам, обладая высоким пределом упругости, способны аккумулировать значительные запасы потенциальной энергии в единице объема, которая при определенной степени перенапряжения способна мгновенно переходить в кинетическую.

Этим можно объяснить потерю устойчивости пород при превышении действующих напряжений над величиной предела прочности на сжатие. Имеющиеся запасы потенциальной энергии в этом случае реализуются на разрушение пород не только на контуре выработки, но и в глубине массива.

Р. Квапил считает, что горный удар возникает только в том случае, когда действующее напряжение превышает предел упругости породы, причем увеличение действующего напряжения опережает возрастание деформации породы. По Э. Айзексону сила горного удара определяется энергией упругой деформации горной породы. С.Г. Авершин и В.Д. Слесарев, объясняя причину возникновения горных ударов, предложили следующую гипотезу: хрупкое разрушение краевой части угольного пласта в виде горного удара происходит под действием высокого опорного давления, возникающего в процессе горных работ.

## Контрольные вопросы:

1. Как предсказать поведение сложноструктурных объектов?
2. Как меняются свойства горных пород с глубиной залегания?
3. В чем заключается различие между аналоговым и физическим моделированием?
4. Перечислите методы физического и аналогового моделирования.
5. Какова точность информации, получаемой с помощью моделирования?