

УЧЕТ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПРИ ОЦЕНКЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОДНОГО БЛОКА

Куваков С. Ж.

ИГиОН НАН КР

Одним из важных параметров при изучении естественных геологических условий месторождений, является трещиноватость горных пород в массиве (рис.1). С точки зрения численного моделирования существует три подхода представления трещиноватых массивов: а) моделирование трещины по теории контакт-элементов; б) трещиноватый массив аппроксимируется сплошной средой; в) трещины рассматриваются как отдельный бесконечно-малый слой массива или трещины заполненные породами, свойства которого отличаются от свойств пород в массиве (сплошной среды)/1-3/. В первом случае трещиноватый массив моделируется следующим образом: трещина рассматривается как линия с определенными номерами узлов и при поведении зоны трещины под действием природных или техногенных факторов может раскрыться или произойти сдвиг, после чего вместо одного образуется две отдельные узлы/3/. А во втором случае трещиноватость массива и трещины не учитывается т.е. рассматривается как сплошная среда. В третьем случае трещину рассматривают как отдельный слой массива, где имеют свои физико-механические свойства. Р.Гудман предложил специальную теорию контакт-элементов. Контакт элемент показан на

рис.2. где 1, 2, 3 и 4 – узлы, в которых пары узлов 1 и 4, 2 и 3 имеют одинаковые координаты т.е. элемент имеет нулевое раскрытие/3/.

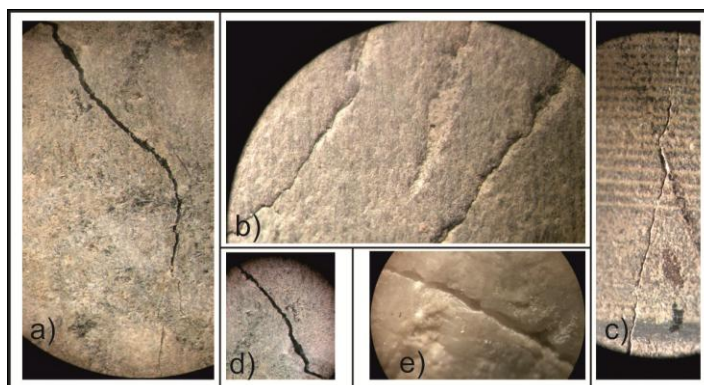


Рис 1. Виды трещины образцов горных пород: а),d), е) – трещины открытого характера; б), с) – залеченные трещины; снимки были сняты с помощью микроскопа МБС-10 СССР с 56-кратным увеличением.

Если рассмотреть нетронутый массив, то трещины выявляются при естественном разрушении горных пород т.е. при разрыве связей между атомами и ионами в кристаллической решетке, происходящие вдоль геологической границы, заложенной ранее другими процессами(см. рис.2). Различают три вида трещины: а) открытые или раскрывшиеся трещины – когда внутреннее пространство заполнено газом или жидкостью; б) заполненные трещины – случай, когда во внутреннем пространстве находятся песчаные, крупнообломочные, пылеватые или глинистые отложения; в) при наличии в трещине прочного минерального заполнителя(кальцит, кварц) – залеченные трещины/4/.Геометрическими параметрами трещины может служить глубина, протяженность по поверхности массива и ширина разрыва трещины.

В работе выполнена моделирование НДС блока с помощью программы Plaxis8. Рассмотрим геометрическую модель блока горной породы размерами 20х20х20 метров, имеющая трещину открытого характера (см. рис.3-а). Если рассмотреть любые сечения по

плоскости XOY , то мы получим аналогичные характеристики плоского напряженно-деформированного состояния (НДС). По -этому от трехмерного моделирования переходим к двумерному с условием $z=0$ т.е. условия протяженности не учитываем (см. Рис.3-б) и рассмотрим азимут падения трещины относительно направления силы гравитации (оси OY) под углами -60^0 , -45^0 , -30^0 , 0^0 , 30^0 , 45^0 , 60^0 (см. рис.3-в).

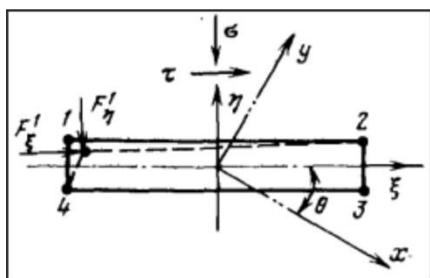


Рис. 2. Схема контакт-элемента Гудмана.

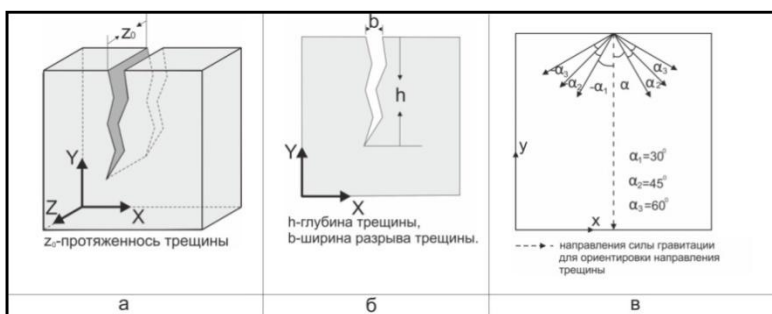


Рис. 3 – а) геометрическая трехмерная модель трещины; б) двумерное представление трещиноватого куба; в) направления трещины относительно оси направления силы гравитации;

Физико-механические свойства горных пород были приняты: объемный вес 26 kN/m^3 ; модуль упругости $1.3 \cdot 10^5 \text{ kN/m}^2$; коэффициент Пуассона $0,27$; сцепление 5 kN/m^2 ; угол внутреннего трения 43^0 . А геометрия: 20×20 метров; ширина разрыва трещины $b=2 \text{ мм}$, что составляет $0,01\%$ от высоты квадрата; глубина трещины меньше половины высоты рассматриваемого квадрата. Кроме этого были приняты $g=9,8 \text{ м/с}$.

При оценке НДС применим численный метод моделирование – метод конечных элементов(МКЭ)/5,6,7/. Данный метод позволяет аппроксимировать любую непрерывную величину моделью дискретной среды, которая строится на множестве кусочно-непрерывных полиномов(функции), определенных на конечном числе подобластей/5/.

Граничными условиями для рассматриваемого породного блока являются: а) вертикальные геометрические линии у которых координата x равна наименьшему или наибольшему значению координаты x в модели, получают горизонтальное закрепление ($u_x=0$); б) горизонтальные геометрические линии, у которых координата y равна наименьшему или наибольшему значению координаты y в модели, получают полное закрепление ($u_x = u_y=0$). Так же уравнением равновесия будет:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + X = 0, \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + Y = 0 \quad (1)$$

где X и Y – объемные силы. Но во многих практических задачах единственной объемной силой принимают собственный вес тела/8/, тогда формула (1) принимает вид:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \rho g = 0 \quad (2)$$

А в качестве автоматического расчета воспользуемся программой Plaxis 8. Программа PLAXIS версии 8 может быть использована для выполнения двухмерного конечно-элементного анализа. Существует отдельная программа PLAXIS для трехмерного анализа. Конечные элементы могут использовать как в модели плоской деформации, так и в осесимметричной модели. Программа базировалась на основе метода конечных элементов и объединяет простые процедуры графического ввода, а так же позволяет пользователю автоматически создавать сложные конечно-элементные модели. На основе МКЭ, программа моделирует в двух направлениях: *Planestrain*(плоская деформация) и *Axisymmetry* (оссиметрия). Модель *Planestrain* используется для сооружений с постоянным сечением, имеющим соответствующее напряженное состояние и предполагается, что перемещения и напряжения в направлении оси z равны нулю, но в любом случае нормальные

напряжения в направлении z полностью включены в расчеты. А *Axisymmetry* используется для круговых сооружений с (более или менее) постоянным сечением и равномерной схемой нагружения относительно центральной оси, для которых предполагается, что в любом из направлений деформация и напряженное состояние являются одинаковыми. Для нашего случая воспользуемся моделью плоской деформации.

Расчеты по деформационным характеристикам показали, что главные деформационные характеристики в случаях угла падения трещины -30° , 0° , 30° и 45° являются наиболее опасными, способствующие обрушению, так как направления перемещений точек направлена почти перпендикулярно (угол между направлениями трещины и перемещении точек варьируется от 70° до 110° , т.е. $\approx 90^\circ$) направлению трещины(см.рис.4.).

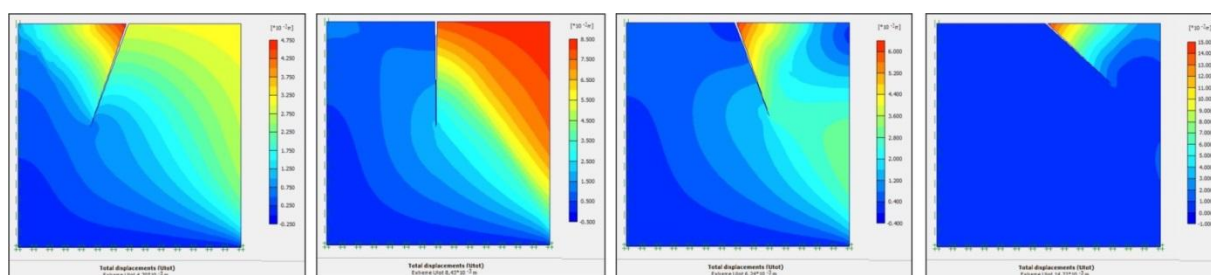


Рис. 4. Наиболее опасные полной деформации при падении углах трещины под -30° , 0° , 30° и 45°

Перемещение узловых точек (*displacement*) рассматриваемой области по направлению оси x изменяется от $-6,8\text{мм}$ до $6,5\text{мм}$, по оси y – от $-3,5\text{мм}$ до -22мм (см табл.2.), а общее(векторное перемещение) – от $4,7\text{мм}$ до 24мм (см. График 1.) Здесь знак «-» обозначает направление перемещении точек противоположное соответствующим осям, а «+» - по направлениям. Степень деформирование

(*strain*%)относительно первоначальных размеров и в зависимости от угла наклона трещины показана на графике 2.

Таблица 2 – деформационные характеристики

Максимальное значения перемещении точек, мм	Направление трещины относительно оси силы гравитации						
	-60 ⁰	-45 ⁰	-30 ⁰	0 ⁰	30 ⁰	45 ⁰	60 ⁰
Горизонтальное	6,8	5,2	3,0	7,6	3,2	1,0	0,4
Вертикальное	-15,0	-8,0	-3,5	-4,5	-5,6	-	22,0

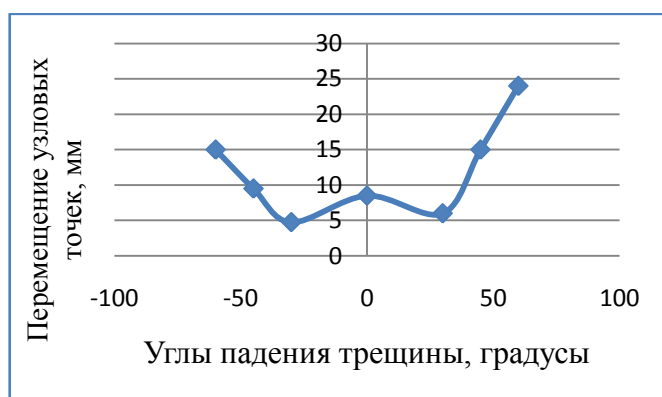


График 1. Перемещение узловых точек относительно изменения угла падения трещины.



График 2. Изменение степени деформирования относительно изменения угла наклона трещины.

По напряженным характеристикам из расчетов выявили, что на кончике трещины образовалось концентрация сжимающих напряжений(рис.5). Сжимающие напряжения при углах наклона 30⁰, 45⁰ и 60⁰ составили 690 kN/m² или 0,69МПа, а при 0⁰ составило 302 kN/m² или 0,302МПа т.е. в 2,2 раза меньше.

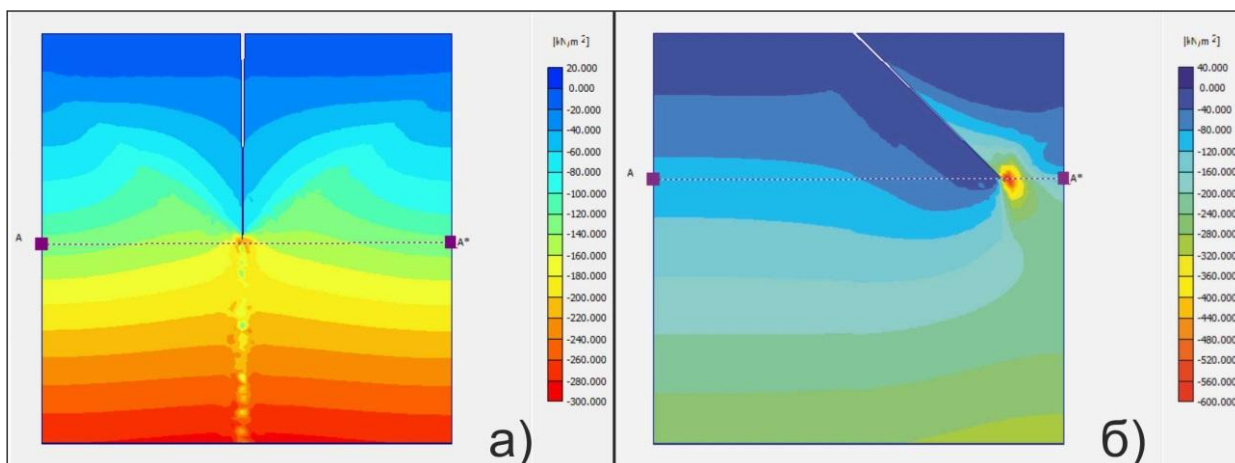


Рис. 5 – концентрация напряжений на кончике трещины а) угол наклона трещины 0° , б) угол наклона трещины 45° .

На графиках 3-4 показаны результаты распределения напряжений по сечениям AA* при углах наклона трещины 0° и 45° соответственно, которые проходят через кончики трещины.

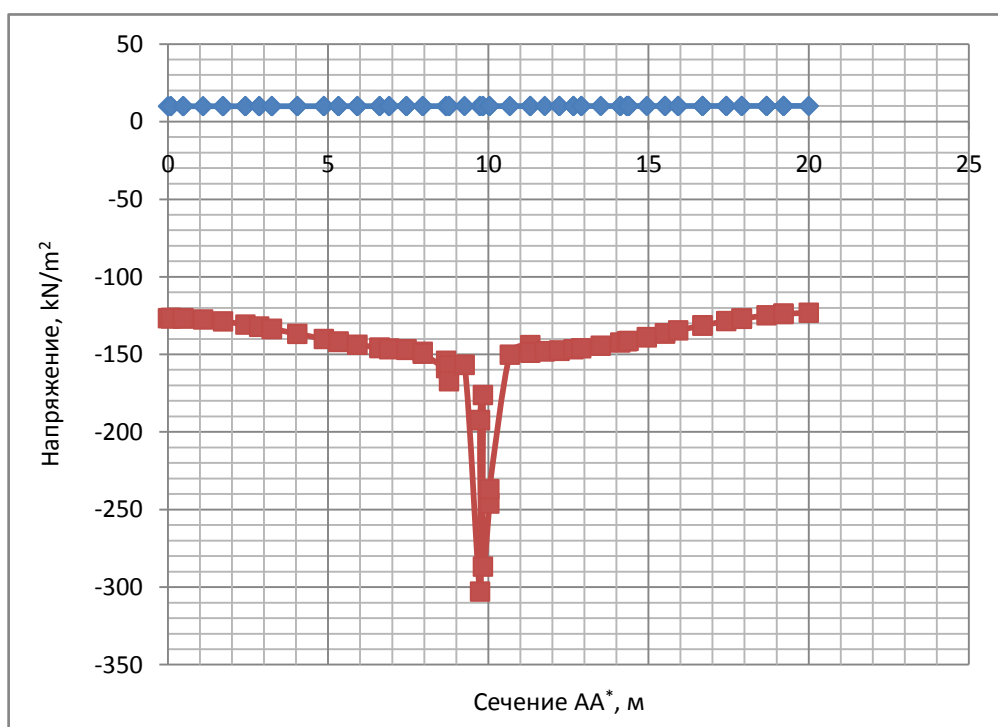


График 3 – распределение сжимающих напряжений по сечению AA* при наклоне трещины под углом 0°

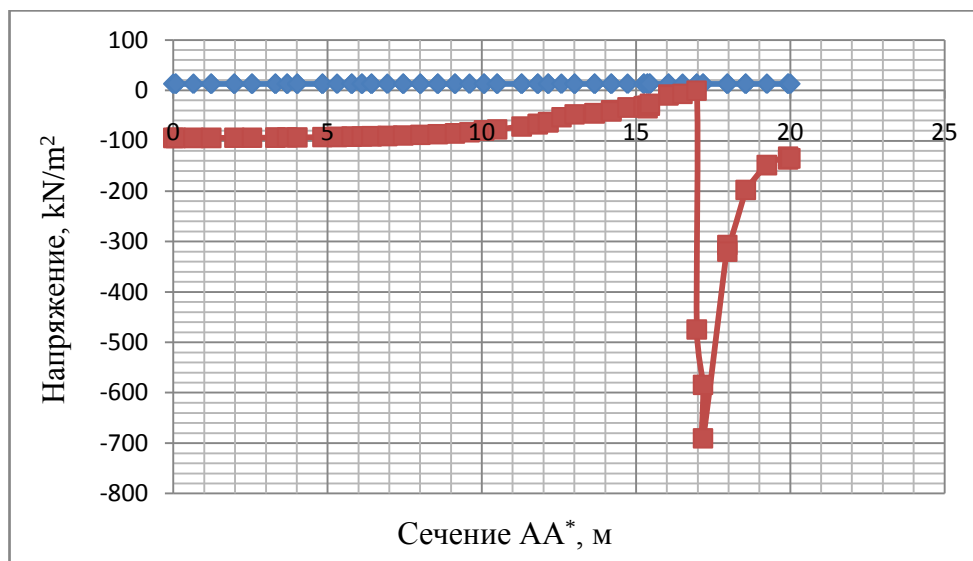


График 4 – распределение сжимающих напряжений по сечению AA* при наклоне трещины под углом 45° .

По проведенным расчетам истекают следующие выводы: А) если рассмотреть положительные углы падения трещин как сторону разработки, то векторное перемещение точек начиная с 30° идет резкий рост; Б) направление трещины перпендикулярно направлению действия растягивающих напряжений; В) концентрация сжимающих напряжений создаются на кончике трещины, способствующие распространению трещины и макроскопическому разрушению, которое подтверждается теорией прочности Гриффитса; Г) максимальные сжимающие напряжение при наклоне трещины под углом 30° , 45° , 60° в 2,2 раза больше чем максимальные сжимающие напряжения под углом 0° .

ЛИТЕРАТУРЫ

1. М.В. Рац, С.Н. Чернышев Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. изд. «НЕДРА», Москва 1970 г.

2. С.Н. Чернышев Трещиноватость горных пород и ее влияние на устойчивость откосов.изд. «НЕДРА», Москва 1984г.
3. А.Б. Фадеев Метод конечных элементов в геомеханике. Москва «Недра»,1987, 168стр.
4. С.Н.Чернышев Трещиноватость горных пород и ее влияния на устойчивость откосов. Москва «Недра», 1984, 11стр.
5. Л. Сегернлинд Применение метода конечных элементов. Изд. Мир, Москва 1979г.
6. Г. Стренг, Дж. Фикс Теория метода конечных элементов. Изд. Мир, Москва 1977г.
7. Р. Галлагер Метод конечных элементов. Основы. Москва, «Мир», 1984г.
8. С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер Теория упругости 2-ое изд., Москва «Наука», 1979, с 45.