

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДРОБЛЕНИЯ МАССИВА ВБЛИЗИ КОНТУРА ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ В ТРАНСТРОПНОМ МАССИВЕ

Известно, что хрупкий или пластический тип разрушения породы однородно изотропного строения определяется соотношением максимальных значений компонент касательных и нормальных компонент напряжений в виде /1/:

$$m = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_{\max}} \quad (1)$$

или

$$m = \frac{0.5(\sigma_1 - \sigma_3)}{\sigma_1 - \nu(\sigma_2 - \sigma_3)} \quad (2)$$

Если $m < \tau_{сдв}/\sigma_p$, то происходит хрупкое разрушение.

Если $m > \tau_{сдв}/\sigma_p$, то происходит пластическое разрушение.

При длине трещины $2l$ и радиусе на конце r внутренние напряжения σ' будут равны

$$\sigma' = 2\bar{\sigma} \sqrt{\frac{l}{r}} \quad (3)$$

Поскольку имеются некоторые экспериментальные предельные данные для горных пород транструпного строения, то применительно к нашей задаче для нахождения пластических зон и зон трещинообразования вдоль и вкрест слоев плоскости изотропии мы можем определить неизвестные параметры $c_{\perp}$, $c_{\parallel}$, $\varphi_{\perp}$, $\varphi_{\parallel}$, используя круги Мора (рис. 1).

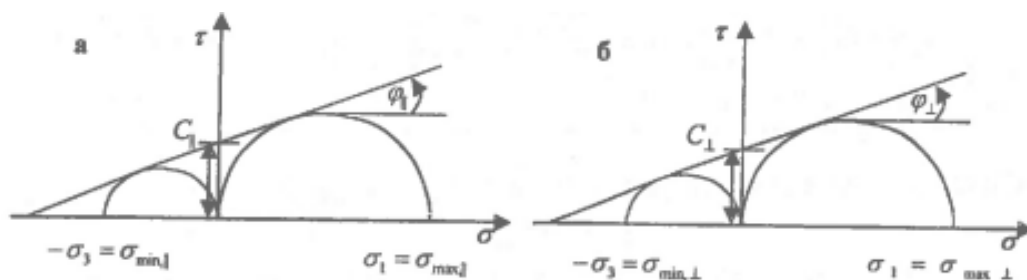


Рис. 1. Круги Мора для нахождения параметров разрушения:
а – вдоль, б – вкрест слоев плоскости изотропии

С помощью данных, полученных из рис. 1, теперь мы можем записать обобщенное условие пластичности и разрушения Кулона-Мора для плоскости

изотропии и для направления вкрест к ним трансформного массива в следующем виде:

$$\tau_{\perp,c} = \sigma_{\perp,c} \operatorname{tg} \varphi_{\perp} + c_{\perp}; \quad (4)$$

$$\tau_{\parallel,c} = \sigma_{\parallel,c} \operatorname{tg} \varphi_{\parallel} + c_{\parallel}. \quad (5)$$

Порядок расчета:

по МКЭ /2/, /3/ находим

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}; \quad (6)$$

если $\tau_{\max} \geq \tau_{\perp,c}$, то разрушение развивается перпендикулярно слоям (вкрест слоев);
если $\tau_{\max} \geq \tau_{\parallel,c}$, то разрушение развивается параллельно слоям (вдоль слоев).

Приведем теперь некоторые результаты расчета, полученные методом конечных элементов с помощью изложенного алгоритма.

В следующих рис. 2, а, б, в показаны закономерности разрушения массива вокруг контура выработки, когда угольный пласт занимает пространство размером 200х200 м в горизонтально слоистом массиве. Зоны раздробления в направлении вкрест слоям появляются в глубине массива над висячими областями контура выработки. Такие же раздробления возникают далеко за почвенной областью только в двух расчетных элементах в угольном пласте с направлением распространения трещины вкрест к плоскости изотропии слоев. Раздробление массива угольного пласта параллельно слоям происходит во всей области вокруг контура выработки с направлением распространения вдоль слоев плоскости изотропии, но на некотором расстоянии от него (рис. 2, б).

Закономерности раздробления пород под углом $\varphi' = 45^\circ$ похожи на картину разрушения в направлении вкрест к слоям (рис. 5, в), показанную на рис. 2, а. Типы разрушения, соответствующие этим картинкам, показаны на рис. 3. Ближе к контуру в боковых областях тип разрушения является вязким, значительная область за ним разрушается хрупко.

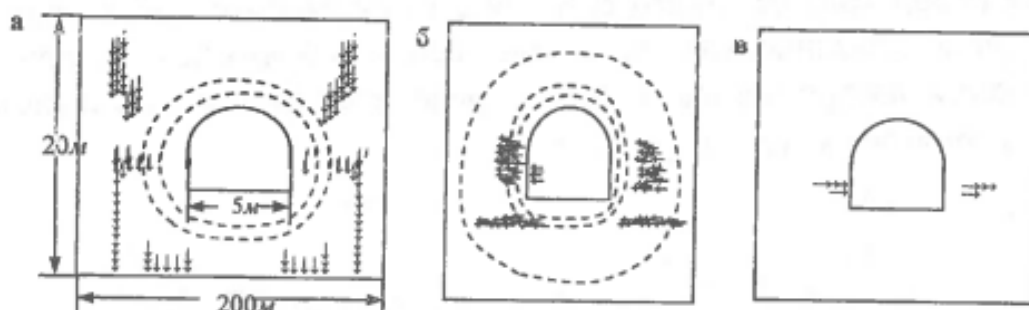


Рис. 2. Механизм трещинообразования вокруг контура незакрепленной выработки на глубине 500 м в угольном пласте высотой 20 м и шириной 200 м:
а – перпендикулярно слоям; б – параллельно слоям; в – под углом $\varphi' = 45^\circ$

Над висячими областями свода выработки преимущественно тип разрушения является вязким. Под почвенной областью раздробление массива происходит вязко и хрупко.

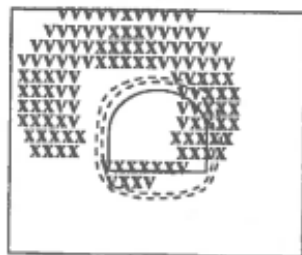


Рис. 3. Тип разрушения вокруг контура незакрепленной выработки на глубине 500 м

в угольном пласте высотой 20 м и шириной 200 м: X — хрупкое разрушение, V — вязкое разрушение

На рис. 4, а, б, в показаны закономерности трещинообразования в угольном пласте размером 20х20 м. В отличие от геостатической нагрузки здесь из-за дополнительной горизонтальной составляющей тектонических полей сжатия в угольном пласте по всей высоте появляются раздробленные зоны с направлениями распространения трещины вкрест (перпендикулярно) к плоскости изотропии (рис. 4, а). Незначительные по объему раздробления в пласте параллельно слоям возникают преимущественно в боковых областях контура выработки с направлением распространения трещины вдоль слоев плоскости изотропии. Еще меньшие по объему трещины появляются ниже пола (рис. 4, б). Совсем незначительные по количеству зон раздробления образуются в нижних боковых областях под углом $\phi' = 45^\circ$ (рис. 4, в).

Если судить о типах разрушений, то данные рисунка показывают, что в боковых и в висячих областях контура и ближе к выработке преобладает вязкий тип, а с удалением от него — хрупкий тип разрушения (рис. 5).

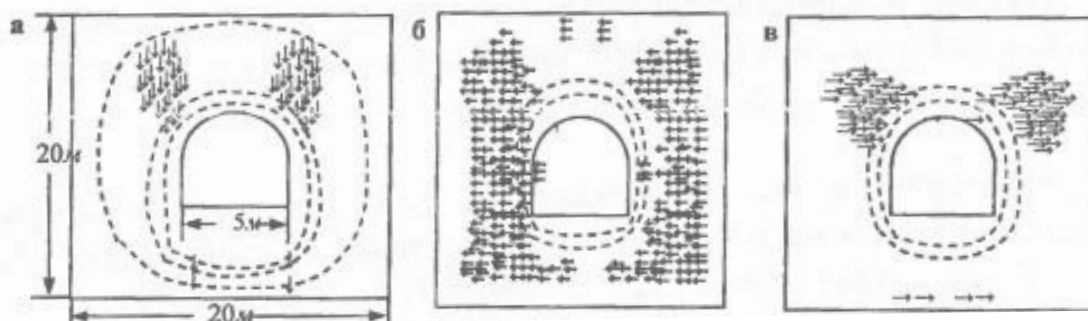


Рис. 4. Механизм трещинообразования вокруг контура незакрепленной выработки на глубине 500 м в угольном пласте размером 20х20 м:

а — перпендикулярно слоям; б — параллельно слоям; в — под углом $\phi' = 45^\circ$

Во всех рассмотренных вариантах исследований ни в одном случае на этих глубинах заложения выработки раздробление массива не доходит непосредственно до контура выработки.

Как и в варианте с геостатической нагрузкой, рассмотрим теперь влияние закрепления контура угольного пласта бетонной крепью на механизмы места и типов разрушений. Эти результаты показаны на рис. 6, а, б, 7.

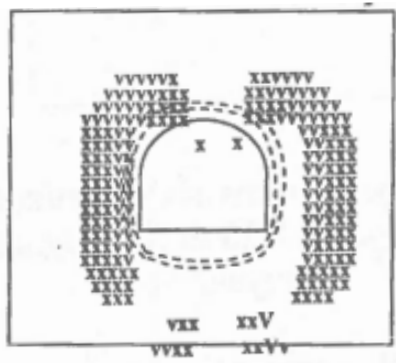


Рис. 5. Тип разрушения вокруг контура незакрепленной выработки на глубине 500 м в угольном пласте размером 20х20 м: X – хрупкое разрушение, V – вязкое разрушение

Трещинообразование перпендикулярно слоям, как и в варианте с геостатической нагрузкой, происходит в направлениях вкрест к плоскостям слоев изотропии, но намного дальше от внешнего контура крепи и имеет явно разряженный характер (рис. 6).

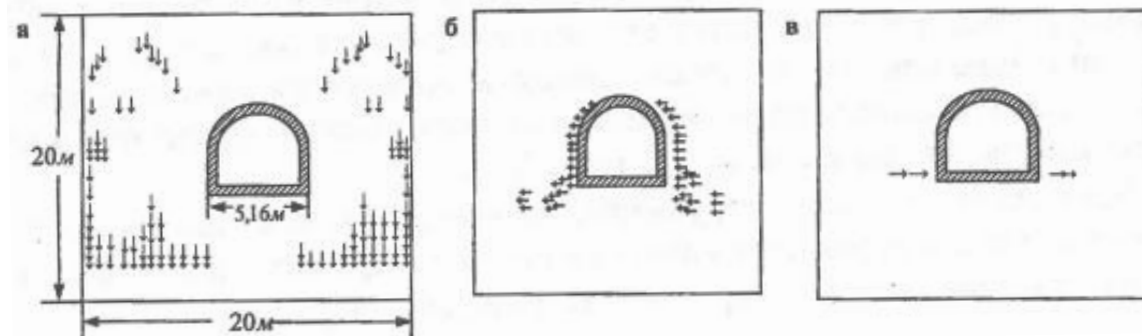


Рис. 6. Механизм трещинообразования вокруг контура закрепленной выработки на глубине 500 м в угольном пласте размером 20х20 м: а – перпендикулярно слоям; б – параллельно слоям; в – под углом $\varphi' = 45^\circ$

В направлении параллельно слоям зоны разрушения достигают внешнего контура крепи на боковых областях с меньшим количеством зон (рис. 6, б).

На рис. 6, в показаны процессы трещинообразования под углом $\varphi' = 45^\circ$. В этом случае заметим, что незначительное трещинообразование характерно в областях лежащих боков.

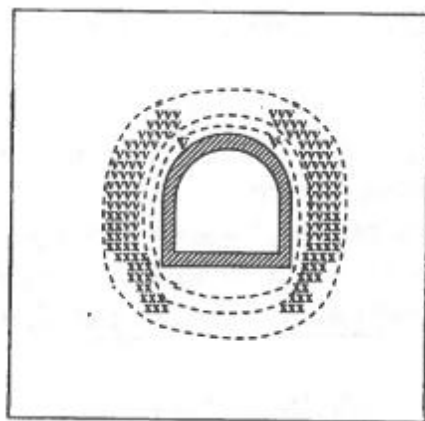


Рис. 7. Тип разрушения вокруг контура закрепленной выработки на глубине 500 м в угольном пласте размером 20х20 м: X – хрупкое разрушение, V– вязкое разрушение

Анализ типов разрушений показывает, что в случае закрепления контура крепью преобладает вязкий тип разрушения массива (рис. 7).

Список литературы

1. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1978. – 390 с.
2. Бате К., Вильсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1982. – 447 с.
3. Баймахан Р.Б. Расчет сейсмонапряженного состояния подземных сооружений в неоднородной толще методом конечных элементов / Под ред. Ш.М.Айталиева. – Алматы: Даур, 2002. – 232 с.