

ГЕОМЕХАНИКА

УДК 622.241.54

Н.В. Черданцев, В.Т. Преслер, В.Ю. Изаксон

СОПОСТАВЛЕНИЕ КАРТИН НАРУШЕННОСТИ АНИЗОТРОПНОГО И ИЗОТРОПНОГО МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД В ОКРЕСТНОСТИ ВЫРЕЗОВ

Массив осадочных горных пород, как правило, имеет упорядоченные поверхности ослабления с характеристиками прочности существенно меньшими, чем по основной породе. Эту особенность иллюстрирует векторная диаграмма прочности [1]. Для пород с одной системой поверхностей ослабления векторная диаграмма представлена на рис.1, где σ_0 - предел прочности основной породы, а σ - предел прочности образца с поверхностями ослабления, составляющими угол $\theta = \pi/4 - \varphi/2$ -с линией действия силы, φ - угол внутреннего трения по поверхности ослабления.

Для нескольких систем поверхностей ослабления, направленных под углом друг к другу, векторную диаграмму получают, накладывая диаграммы типа 1а, повернутые на соответствующие углы. На рис.1 б такая диаграмма построена для породы, имеющей три системы поверхностей ослабления, углы между которыми равны 60^0 .

При увеличении числа систем поверхностей ослабления и соответственно уменьшении угла между ними векторная диаграмма будет стремиться к окружности радиуса σ , т.е. порода превращается в квазизотропную с пределом прочности σ , меньшим σ_0 . Это полностью объясняет так называемое «структурное

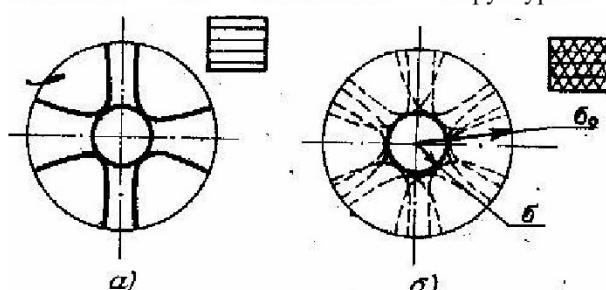


Рис.1. Векторные диаграммы прочности пород при одной (а) и трех (б) системах поверхностей ослабления

Согласно свойству «структурного ослабления» породы в окрестности выреза разрушаются, прежде всего, по поверхностям ослабления, образуя зоны нарушения сплошности, в которых условия разрушения формулируются согласно теории

прочности Мора-Кузнецова следующим образом [1]

$$\tau_V \geq \sigma_V n + K, \quad \sigma_V \geq \sigma_p, \quad (1)$$

где n и K - соответственно коэффициенты внутреннего трения и сцепления, σ_p - предел прочности на разрыв поверхности ослабления, а τ_V и σ_V - соответственно касательное и нормальное напряжения по ним, которые определяются с учётом всех компонентов тензора напряжений действующих в окрестности.

Плоская задача о напряжённом состоянии в окрестности выреза в геомеханике формулируется аналогично задаче о бесконечной плоскости с отверстием, по сторонам нагруженной гравитационными напряжениями на глубине заложения выработки [2]. Для определения напряжений в окрест-

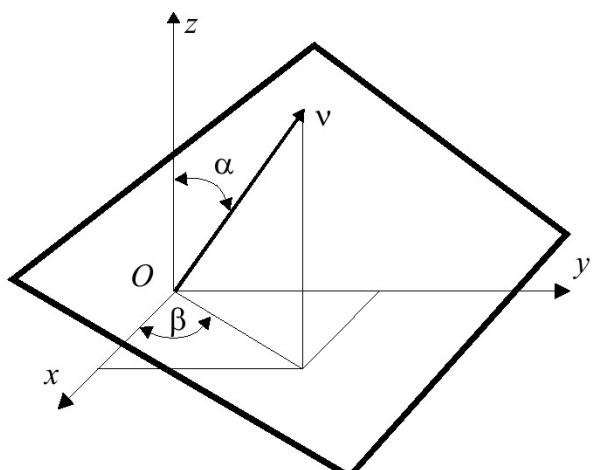


Рис. 2. Положение поверхности ослабления в пространстве

ности протяжённой одиночной выработки применяются как аналитические методы, в частности метод функций комплексного переменного, так и численные методы, среди которых наиболее эффективен метод граничных элементов (МГЭ). Этот метод позволяет рассчитать непрерывное поле напряжений, необходимое для оценки прочности по регулярным поверхностям ослабления. Положение этих поверхностей (плоскостей) задаётся углами падения α и простириания β (рис. 2).

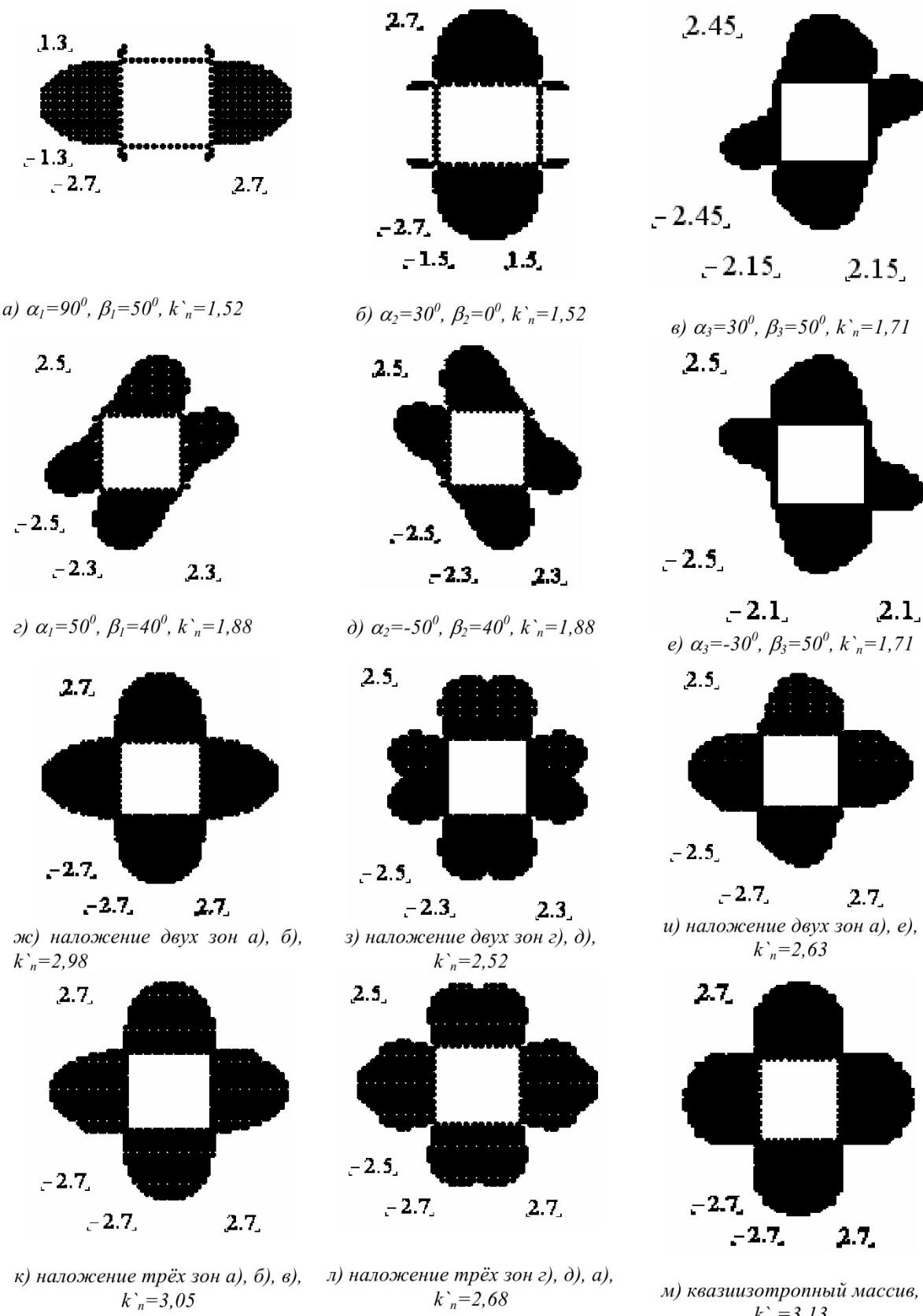


Рис. 3. Картины нарушения сплошности в окрестности выреза квадратного сечения

На рисунке ось x – ось выработки, а оси y, z – оси её поперечного сечения.

Разрушенные области или зоны нарушения сплошности в окрестности выработки определя-

ются как совокупности точек, в которых произошло разрушение по поверхностям ослабления пород по критериям (1). Степень нарушенности массива в окрестности выреза будем характеризо-

вать коэффициентом нарушенности, k_n равного для протяжённых выработок отношению площади зоны нарушения сплошности к площади поперечного сечения выреза.

Задачи по расчёту зон нарушения сплошности решаются с учётом горизонтальной системой координат

даны результаты построения и анализа картин нарушения сплошности массива с несколькими системами поверхностей ослабления в окрестности вырезов квадратного и круглого поперечных сечений с пролётом в две единицы. Зоны нарушенности определяются по критериям, полученным в предположении

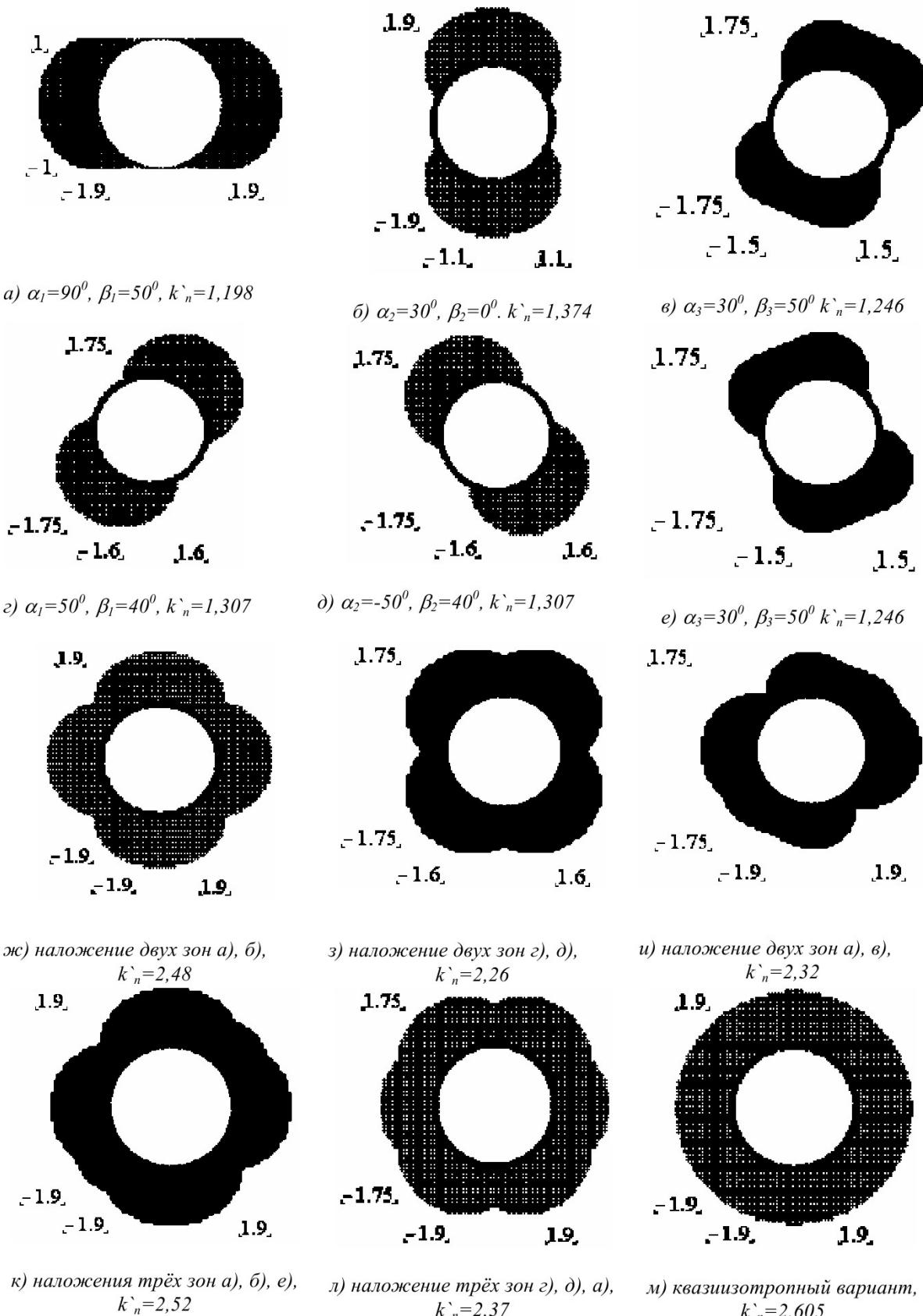


Рис. 4. Картинны нарушения сплошности в окрестности выреза круглого сечения

Вычислительный эксперимент на двух типах вырезов проведён со следующими параметрами среды: поле напряжений гидростатическое - $\lambda=1$, коэффициент сцепления на поверхностях ослабления принят $K=0$, угол внутреннего трения $\varphi=20^\circ$. Углы падения и простирания выбраны так, чтобы параметры зон (размеры и конфигурация) приблизить к квазизотропному массиву, в котором зоны нарушения сплошности построены согласно критерию Кулона – Мора

$$\begin{aligned}\tau_V &= \sigma_V \cdot n + K \\ \sigma_V &= \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin \varphi \\ \tau_V &= \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos \varphi\end{aligned}\quad (2)$$

где σ_1, σ_3 – главные напряжения, φ – угол внутреннего трения.

На рис.3, 4 (а, б, в, г, д, е) построены картины нарушения сплошности под действием одной системы поверхностей ослабления (СПО) различной ориентации в пространстве (шесть положений), на рис. 3, 4 (ж, з, и) – под действием двух СПО, на рис. 3, 4 (к, л) под действием трёх СПО, а рис. 3, 4 (м) отражают квазизотропный случай.

Как следует из рисунков, при воздействии двух СПО (рис 3, 4 (ж, з, и)) наибольший эффект разрушения даёт схема, представленная рисунками 3, 4 (а, б), на которых зоны нарушения «взаимно перпендикулярны». Отличие от квазизотропного случая составляет менее 5%. Наименьший эффект разрушения дают системы, представленные на рис. 3, 4 (г, д). Отличие от квазизотропного случая составляет менее 20% для квадратного и менее 14% для круглого сечений.

При наличии трёх СПО (рис. 3, 4 (к, л)) наибольший эффект разрушения даёт суперпозиция зон, представленных на рис. 3, 4 (а, б, в). Отличие от изотропного случая составляет около 2,5% для квадратного сечения и менее 3,3% для круглого сечения. В то же время наложение третьей СПО лишь незначительно увеличивает область нарушения по сравнению с суперпозицией двух сис-

тем. Так из сравнения рис. 3, 4 (ж, к) видим, что положение третьей СПО даёт только 2% увеличения площади разрушения для квадратного сечения и 1,5% для круглого сечения.

Таким образом, суперпозиция уже двух СПО, дающая «взаимно перпендикулярное» размещение зон относительно друг друга по вертикали и горизонтали, приближает область разрушения к квазизотропному случаю. Следует отметить, что суперпозиция двух других СПО, хотя и обеспечивает «взаимно перпендикулярное» размещение зон относительно друг друга под наклоном к вертикали и горизонтали, но даёт меньший эффект разрушения несмотря на то, что индивидуальные показатели разрушения у них выше. Так сопоставление рис. 3 (а и б) рис. 3 (б и в) показывает, что индивидуальные показатели разрушения при наклонном размещении зон, выше показателей при горизонтальном и вертикальном размещении примерно на 20%, а суперпозиционный эффект ниже на 18%.

Анализ этих результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. Размеры и конфигурация зон нарушения сплошности существенно зависят от ориентации поверхностей ослабления.

2. Уже системы трёх поверхностей ослабления образуют в окрестности вырезов зоны нарушения сплошности по размерам и форме близкие к квазизотропному массиву с такими же характеристиками прочности как на поверхностях ослабления.

3. В ряде случаев оказывается, что и две системы поверхностей ослабления образуют зоны нарушения сплошности, практически совпадающие с зонами в квазизотропном массиве, в котором характеристики прочности такие же как на поверхностях ослабления.

4. Размеры и конфигурация зон нарушения сплошности квазизотропного массива являются предельными для массива с любыми системами поверхностей ослабления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ержанов Ж.С., Изаксон В.Ю., Станкус В.М. Комбайновые выработки шахт Кузбасса. Опыт поддержания и расчёт устойчивости. – Кемерово: Кемеровское книжное изд. –во, 1976. - 216 с.
2. Динник А.Н., Моргаевский А.В., Савин Г.Н. // Тр. совещания по управлению горного давления. – М.: АН СССР, 1928. С. 28-39.
3. Черданцев Н.В., Изаксон В. Ю. Некоторые трёхмерные и плоские задачи геомеханики. – Кемерово: КузГТУ, 2004.-190 с.

□ Авторы статьи:

Черданцев
Николай Васильевич
- к.т.н., старший научный сотрудник
Института угля и углехимии Сибирского отделения РАН

Преслер
Вильгельм Теобальдович
- д.т.н., ведущий научный сотрудник
Института угля и углехимии
Сибирского отделения РАН

Изаксон
Всеволод Юльевич
-д.т.н., проф., главный научный сотрудник Института угля и углехимии Сибирского отделения РАН