

ным нарушениям сложной морфологии / С.И. Скипочка, Ю.Н. Пилипенко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2009. – Вып. 83. – С. 288–292.

12. Пилипенко, Ю.Н. Дегазация угольных пластов в зонах тектонических нарушений / Ю.Н. Пилипенко // Геолог Украины. – 2011. – № 2. – С.69-73.

13. Булат, А.Ф. Теоретические предпосылки оценки напряженно-деформированного состояния угольных пластов методом многоканальной сейсмоакустики / А.Ф. Булат, Ю.Н. Пилипенко, С.Ю. Макеев // Математические проблемы технической механики – 2011: Материалы XI Международной научной конференции (13-15 квітня 2011 р.). – Днепропетровск, Днепродзержинск, 2011. – С.4.

**УДК 622.833.5.001.5**

Доктора техн. наук С.И. Скипочка,  
Т.А. Паламарчук,  
инж. Н.Т. Бобро  
(ИГТМ НАН Украины)

## **ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНОГО БЛОЧНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД**

Виконано аналіз особливостей будови структурно-неоднорідного блокового масиву гірських порід.

## **FEATURES OF STRUCTURE OF STRUCTURAL-INHOMOGENIOUS BLOCK MASSIF ROCKS**

The analysis of features of structure of structural-inhomogenous block massif rocks is executed.

При изучении механических свойств горных пород как среды, в которой проводятся горные выработки (т.е. создаются полости), необходимо различать поверхности ослабления: а) большой протяженности, по которым происходит скольжение одной части деформируемого массива относительно другой, являющиеся поверхностями разрыва сплошности массива, и б) небольшой протяженности, расположенные ступенчато относительно друг друга и образующие системы определенным образом ориентированных трещин. При деформировании больших областей массива (линейные размеры которых на порядок больше линейных размеров блоков, ограниченных смежными трещинами) структурные ослабления небольшой протяженности не являются поверхностями скольжения и разрыва непрерывности деформаций и смещений, а являются лишь элементами структуры массива горных пород, снижающими прочность (или сопротивление сдвигу) массива горных пород (рис. 1) [1-3].

Структурные элементы первого типа (так будем называть поверхности ослабления большого протяжения), их расположение и характеристики сопротивления сдвигу по ним оказывают большое влияние на формирование нагрузок (силовых полей) в окрестности горных выработок, распространение области влияния выработок, изменение напряжений в массиве горных пород и параметры сдвижения горных пород. Например, если покрывающая полезное ископаемое толща представлена крепкими породами, то граница области влияния очистных выработок и параметры сдвижения существенно будут зависеть от мощности слоев, разграничиваемых поверхностями ослабления первого типа.

Хорошо известно также влияние залегания слоев и тектонических нарушений на параметры сдвижения.

Структурные элементы второго типа, оказывая влияние на механические характеристики массива горных пород, тем самым оказывают непосредственное влияние на устойчивость боков, почвы и кровли выработок. Механические характеристики массива горных пород зависят от прочности пород в образце, формы отдельности, интенсивности трещиноватости и масштабного фактора. Так как здесь рассматриваются только структурные особенности массива, из перечисленных факторов, влияющих на механические характеристики массива, будем касаться только формы отдельности и интенсивности трещиноватости.

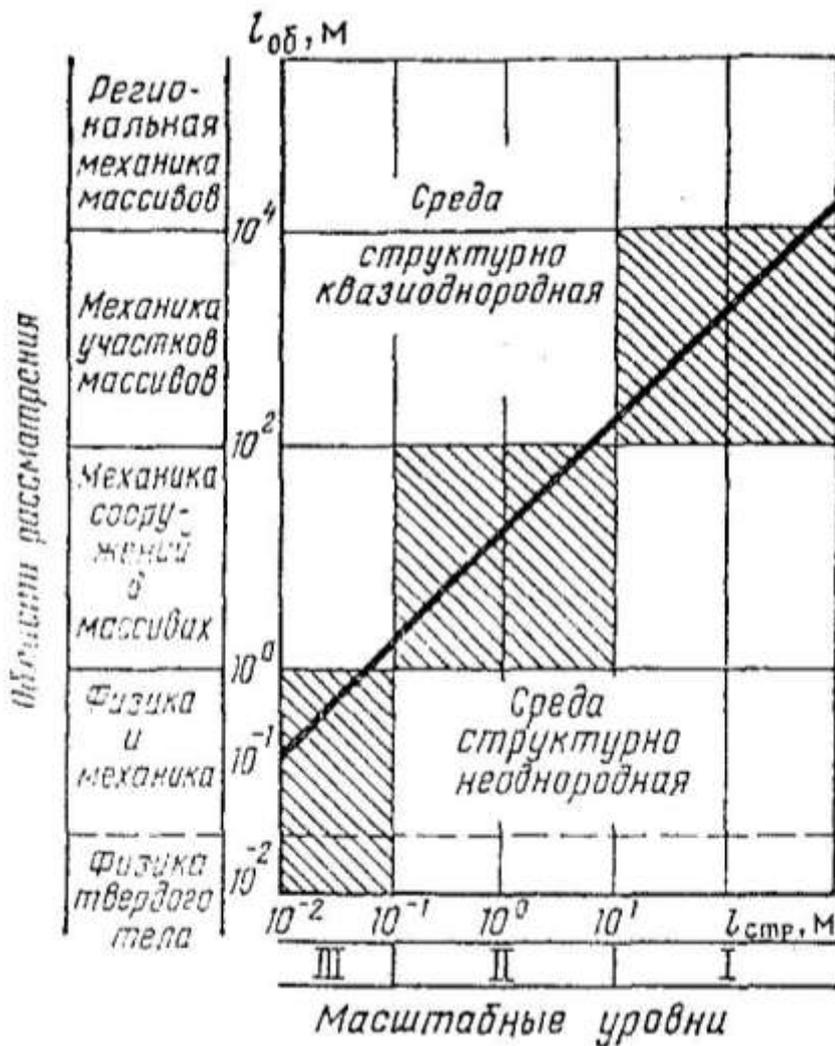


Рис. 1 – Диаграмма структурной неоднородности массивов пород

В горных породах, наиболее часто, наблюдаются следующие формы отдельности (рис. 2):

параллелепипедная и кубическая (рис. 2,а), определяемые, по крайней мере, тремя взаимно перпендикулярными системами трещин; эти формы отдельности характерны главным образом для слабодислоцированных осадочных пород;

призматическая или столбчатая (рис. 2,б), свойственна главным образом базальту и покровным суглинкам;

плитообразная и матрацевидная (рис. 2,в) – характерны для массивнокристаллических пород;

ромбоидальная (рис. 2,г) – в осадочных сильнодислоцированных и интрузивных породах встречается при кососекущих трещинах;

чечевицевидная отдельность метаморфических и глинистых сланцев и некоторых угле (рис. 2,д) – в глинистых сланцах и аргиллитах наблюдаются также отдельности, ограниченные искривленными (S-образными) трещинами, являющимися следствием пластических деформаций глинистых слоев при межпластовых подвижках;

шаровая – большей частью свойственна крепким горным породам в зоне выветривания и конкреционным включениям в толще осадочных пород.

При изучении структурных особенностей массивов горных пород необходимо различать структурные ослабления двух типов:

– структурные ослабления по поверхностям большого протяжения, по которым происходит скольжение одной части деформируемого массива относительно другой, такими поверхностями ослабления являются контакты между слоями, поверхности рассланцованности в метаморфических породах, контакты между различными литологическими разностями изверженных пород, дизъюнктивные нарушения и тектонические трещины большого протяжения;

– системы структурных ослаблений по площадкам ограниченных размеров, смещенным в пространстве одна относительно другой, т.е. имеющих ступенчатый характер; такие системы поверхностей ослабления придают массиву горных пород блоковое строение со слабыми связями между достаточно жесткими и прочными блоками; такими поверхностями ослабления являются трещины различного происхождения (генезиса): тектонические, трещины отдельности, кливажные, выветривания, гравитационные и др.

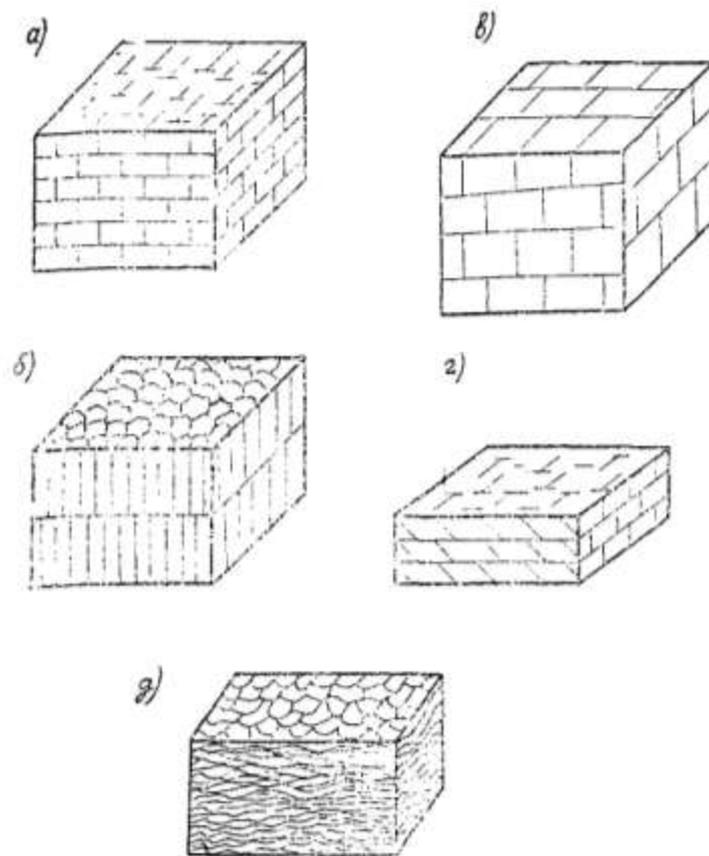


Рис. 2 – Структурные модели горных пород

Как указывалось выше, для массива горных пород свойственны структурные неоднородности. Большинство из них носит характер закономерного распространения в пространство, вследствие чего массивы пород можно представлять сложенными из отдельных структурных блоков различных размеров. По размерам блоков выделяется несколько порядков неоднородностей: структурные нарушения на уровне минеральных зерен; микротрещиноватость, образующая блоки размерами до десятков сантиметров; макротрещиноватость (блоки размерами до нескольких метров) и крупные геологические нарушения, соизмеримые с масштабами месторождений в целом [1–4].

Вследствие слоистости и неоднородности массивов горных пород (или горно-геологических комплексов) под влиянием тектонических и других процессов в них возникают различным образом ориентированные поверхности разрыва сплошности. Такими поверхностями являются дизъюнктивные нарушения, контакты между слоями, контакты между литологическими разностями изверженных пород и трещины различного происхождения: тектонические, отдельности, выветривания, напластования, гравитационные и др. Испытываемое горными породами всестороннее сжатие или последующая цементация приводят к некоторому восстановлению связности по поверхностям разрыва сплошности, поэтому они чаще всего обладают некоторым сцеплением и сопротивлением отрыву (и, естественно, внутренним трением) и называются поверхностями ослабления (прочности). Однако уже в начальной стадии деформирования мас-

сива горных пород по поверхностям ослабления возникают разрывы сплошности.

Порядки неоднородностей влияют на свойства реальных объектов и, в частности, на их деформирование. Однако предполагается, что характер деформирования сложных сред с ориентированными структурными неоднородностями любых порядков качественно одинаков, различие должно проявляться только в величинах деформаций. Это предположение позволяет изучать общие закономерности деформирования подобных сред на примере высших порядков неоднородностей, это является необходимым этапом при исследовании объектов, включающих в себя неоднородности более низших порядков.

При разрушении твердых тел, кроме разрыва, широко распространены деформации среза (сдвига). Так, Г.Л. Фисенко [3] считает, что деформирование и разрушение горных пород в массиве происходят в определенной последовательности: сдвиг в упругой стадии – отрыв – разрушение слабых блоков – поворот более прочных структурных блоков. Эти выводы основаны на предположении о характере деформирования трещиноватого массива. Если направление приложения усилия не совпадает с плоскостями трещин, то происходит деформация растяжения в направлении наименьшего главного напряжения, появляются трещины отрыва. После этого в наиболее слабых участках структурных блоков, ограниченных трещинами разрыва, появляются сколовые трещины. Затем происходит вращательное перемещение структурных блоков. По мнению Г.Л. Фисенко, именно разворот структурных элементов под нагрузкой имеет решающее значение в формировании прочности структурированных массивов пород. В этом проявляется также масштабный эффект, оцениваемый коэффициентом структурного ослабления,

$$\lambda = \frac{k_{об}}{k_{сmp}}, \quad (1)$$

где  $k_{об}$  – показатель прочности исследуемого объема в массиве пород;  $k_{сmp}$  – показатель прочности структурного блока.

Коэффициент структурного ослабления не является величиной постоянной и зависит от степени структурной раздробленности  $l_{об}/l_{сmp}$ , прочности структурных блоков, ориентировки поверхностей ослабления массива (трещин) к направлению нормальных напряжений и масштабного фактора.

Чем больше  $l_{об}/l_{сmp}$ , тем большее число факторов начинают влиять на коэффициент структурного ослабления, величина его уменьшается, т.е. прочность массива становится ниже.

Г.Л. Фисенко [3] установил, что

$$k_{об} = k_m + \frac{k_{сmp} - k_m}{1 + a \ln l_{об}/l_{сmp}}, \quad (2)$$

где  $k_{об}$  – сцепление в массиве пород;  $k_m$  – сцепление по трещине;  $k_{сmp}$  – сцепле-

ние в структурном блоке;  $a$  – некоторый безразмерный коэффициент, зависящий от прочности структурного блока (при изменении  $\sigma_{сж}$  от 1 до 100 МПа величина возрастает от 1 до 7).

Если сцепление по трещинам пренебрежимо мало, т.е.  $k_m \rightarrow 0$ , то

$$\lambda = \frac{k_{об}}{k_{ср}} = \frac{1}{1 + a \ln l_{об} / l_{ср}}. \quad (3)$$

Зависимость (3), используя (2), можно аппроксимировать выражением

$$\lambda = 0,08 + 0,92 \left( \frac{l_{об}}{l_{ср}} \right)^{-1,2}, \quad (4)$$

дающим хорошую сходимость с результатами экспериментов.

Количественной иллюстрацией проявления масштабного фактора на прочности массивов пород являются графики на рис. 3.

При построении графиков использована зависимость (2). Исходными послужили материалы структурной съемки и изучения прочностных свойств пород одного из участков Соколовского железорудного месторождения в Казахстане [3].

Кривая 3 соответствует третьему масштабному уровню структурной раздробленности массива (см. рис. 3) и имеет следующие численные параметры:  $l_{ср} = 0,01$  м; прочность структурного блока на сжатие 100 МПа;  $a = 7$ .

Кривая 2 отражает условия второго масштабного уровня:  $l_{ср} = 1$ ;  $\sigma_{сж} = 5-7$  МПа (для структурного блока);  $a = 3$ .

Кривая 1 соответствует первому масштабному уровню и имеет параметры:  $l_{ср} = 10$  м;  $\sigma_{сж} = 1-3$  МПа;  $a = 1$ .

При расчетах и построении графиков за основу была взята прочность структурного блока третьего масштабного уровня, которая определена непосредственными испытаниями. Прочность структурных блоков второго и первого масштабного уровней определялись расчетным путем с использованием зависимостей (2) и (3).

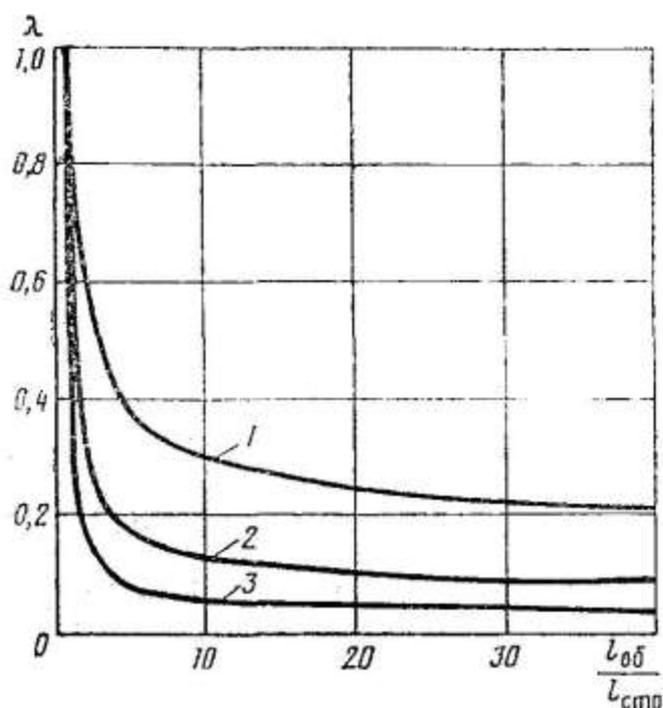


Рис. 3 – Графики зависимости коэффициента структурного ослабления пород  $\lambda$  от степени структурной раздробленности массива  $l_{об}/l_{стр}$

Графики отражают относительные изменения прочности исследуемых объемов массива, т.е. уменьшение прочности структурного блока в зависимости от соотношения  $l_{об}/l_{стр}$ .

Массив горных пород в большинстве своем характеризуется наличием сильно развитой упорядоченной трещиноватости, что является причиной анизотропности его строения [5].

Характер трещиноватости, ее интенсивность и элементы залегания определяют форму и размеры структурных блоков, ставят в зависимость от них выбор направления фронта горных работ и технологии добычи.

В настоящее время существует несколько классификаций трещин горных пород, из которых наиболее распространенными являются геометрическая и генетическая. Генетическая классификация Р. Болка основана на классификационных признаках Г. Клооса, согласно которой трещины подразделяются на продольные, поперечные диагональные и первично-пластовые.

Массивы изверженных горных пород характеризуются разрывами трех порядков (табл. 1).

Именно трещины 3-го порядка формируют естественную блочность массива и оказывают влияние на выбор системы разработки и ее параметров. В этой связи при исследовании природной трещиноватости, определяющей расположение и направление перемещения фронта горных работ и общую технологию добычи, к учету принимаются, как правило, только трещины 3-го порядка. Остальные же трещины исследуются при изучении структурных особенностей и анизотропии гранитов.

Таблица 1 – Характеристика пород по трещиноватости

Порядок разрыва	Характеристика и генезис трещин	Протяженность трещины, м	Раскрытие, м	Расстояние между трещинами, м	Преимущественное ориентирование
Внутрикристаллические трещины					
1	Вакансии, дислокации, полости	$10^{-9}-10^{-2}$	$10^{-9}-10^{-5}$	$10^{-8}-10^{-9}$	Беспорядочное
	Межкристаллические трещины				
2	Трещины между кристаллами, трещины в цементе Эндогенные (разрыв) Трещины остывания и усыхания	$10^{-4}-10^{-2}$  $10^{-1}-10^3$	$10^{-6}-10^{-3}$  $10^{-5}-10^{-3}$	$10^{-5}-10^{-2}$  $10^{-1}-10^0$	Беспорядочное, за исключением сланцевых пород
	Трещины накопления осадков Экзогенные (сдвиг, разрыв)	$10^{-1}-10^{-3}$	$10^{-6}-10^{-4}$	$10^{-1}-10^0$	Параллельно напластованию
3	Тектонические трещины	$10^0-10^{-5}$	$10^{-6}-10^0$	$10^{-4}-10^{-1}$	Связанные системы параллельных трещин
	Кливаж Гипергенные (разрыв)	$10^{-1}-10$	$10^{-9}-10^{-5}$	$10^{-4}-10^{-3}$	Параллельные трещины
	Искусственные трещины	$10^{-3}-10$	$10^{-6}-10^{-1}$	$10^{-1}-10^0$	
	Трещины отжима	$10^0-10^{-2}$	$10^{-3}-10^{-1}$	$10^{-1}-10^0$	Перпендикулярно к обнажению
	Трещины выветривания	$10^{-1}-10^{-2}$	$10^{-5}-10^{-1}$	$10^{-2}-10^0$	Параллельно обнажению По первичным трещинам

Классификация трещиноватости массивов горных пород по Л. Мюллеру и др. приведена в табл. 2 [6].

Существующие методы оценки трещиноватости массивов горных пород можно объединить в две группы.

1. Статистические методы: непосредственное наблюдение за трещинами и их измерения в обнажениях и карьерах, изучение трещиноватости путем бурения геологоразведочных скважин, изучение просачивания воды в скважины, наблюдения за блочностью в действующих карьерных путем измерений размеров блоков и вынутаго камня.

2. Геофизические методы: электроразведка, магнито- и сейсморазведка, различный картаж скважины.

Таблица 2 – Классификация трещиноватых массивов горных пород  
(по Л. Мюллеру, В.В. Каякину, с дополнениями и изменениями)

Тип массива	Основные генетические типы трещин	Площадь сечения скальных целиков в плоскости трещин основных систем, %	Поведение массива при приложении нормальных сжимающих напряжений	Сопротивление массива пород тангенциальным (сдвигающим) напряжениям	Характеристика фильтрационных свойств массива пород
Монолитный	Литогенетические, тектонические	25-30	Как упругое тело без пластических деформаций	Определяется наличием и свойствами скальных целиков	Трещинная водопроницаемость не выражена
Сохранный	То же	10-25	Как упругое тело с незначительными пластическими деформациями	Определяется, в основном, наличием и свойствами скальных целиков	Трещинная водопроницаемость выражена слабо
Разуплотненный	Литогенетические, разуплотнения	0-10	Как упругопластичное тело со значительными пластическими деформациями	Определяется, в основном, трением и «зацеплением» по поверхности трещин и механическими свойствами заполнителя	Трещинная водопроницаемость зависит от наличия, свойств и состава заполнителя, в большинстве случаев значительная
Расчлененный	Литогенетические, тектонические разуплотнения, выветривания	0	Как упругопластичное тело с большими пластическими деформациями	Определяется трением и «зацеплением» по поверхности трещин и механическими свойствами заполнителя	Трещинная водопроницаемость зависит от наличия, состава и свойств заполнителя, в большинстве случаев большая

Геофизические методы целесообразно применять для определения структурных неоднородностей массива, имеющих практическое значение в горном деле и являющихся объектами эффективной геофизической интроскопии. К таким структурным неоднородностям следует относить границы раздела горных пород с различными физическими свойствами, карсты и пустоты, твердые включения и залежи, сбросы, обводненные зоны и зоны трещиноватости. Рассматриваемые методы позволяют получить лишь общую оценку трещиноватости массива без разделения трещин по классам и установления элементов их залегания

Анализ существующих методов изучения трещиноватости свидетельствует, что наиболее эффективными для карьеров блочного камня являются статистические и горно-геометрические методы, а именно:

массовые измерения трещин в забоях и обнажениях с инструментальной их привязкой и последующей обработкой, составлением планов, карт и диаграмм трещиноватости;

изучение трещиноватости с помощью колонкового бурения скважин;

непосредственное наблюдение за выходом блочной продукции в карьерах; наблюдение за микро- и макротрещиноватостью камня при его добыче и переработке на продукцию.

Месторождениям изверженных пород характерны следующие закономерности развития природных трещин в массиве.

1. Эмпирические распределения частот трещин отдельности подчиняются нормальному закону распределения. Максимальное число трещин данной системы имеют близкие элементы, определяя ее полюс. Постоянно уменьшающееся число трещин имеют все более отклоняющиеся друг от друга элементы залегания и образуют ореол рассеивания вокруг своего полюса. Чем меньше угол ореола рассеивания, тем более близки трещины к своему полюсу.

2. Межтрещинные расстояния первично-пластовых разрывом сплошности увеличиваются с глубиной их положения в недрах, аппроксимируясь, прямолинейной зависимостью. Эта закономерность позволяет определять межтрещинные расстояния с глубиной и обосновать параметры системы разработки и технологии добычи блоков.

3. Природная трещиноватость характеризуется закономерностью плоскостной параллельности, сущность которой состоит в том, что плоскости трещин отдельности одной и той же системы на небольших участках (до 10 м) приблизительно параллельны между собой.

Пологие трещины параллельны слоистости пород, продольные трещины почти по всем месторождениям параллельны структурам течения магмы, а линейная параллельность пологих и продольных трещин согласовывается с волокнистостью.

Основные направления плоскостей параллельности определяют: для пологих трещин – полюс угла падения пологих трещин; для вертикальных плоскостей трещин – полюс угла падения и азимут линии падения.

Данная закономерность позволяют сделать два вывода:

– развитие продольных и первично-пластовых трещин параллельно согласовывается с направлениями структур течения магмы, а значит и с анизотропией камня, что позволяет обоснованно выбирать расположением фронта добычных забоев и оптимальные направления плоскостей раскола при добыче блоков;

– месторождениям блочных пород или единичным их участкам характерна правильная отдельность, обусловленная закономерностью плоскостной параллельности развития трещин в массиве, что дает возможность точнее оценить формы и размеры структурных блоков, значения показателей которых определяет способ подготовки камня к выемке и параметры технологии добычи блоков.

В настоящее время существует несколько методов оценки блочности месторождений облицовочных камней, которые применительно к одним условиям дают довольно точные результаты, а к другим – лишь в первом приближении.

Эти методы подразделяются на следующие виды: статистические, графоаналитические, горно-геометрические, вероятностные, опытной добычи, графостатистического моделирования и гранотектонические.

Породы блочного строения обладают специфическими свойствами, пред-

определяющими их поведение в подземных выработках. Главными из этих свойств являются [7]:

периодическая изменчивость распределения вещественного состава, обусловленная наличием границ раздела;

пилообразное пространственное распределение физико-механических характеристик пород, сопряженное с периодичностью изменчивости вещественного состава и типами границ раздела между боками;

периодическая изменчивость распределения напряжений, обусловленная первыми двумя факторами;

иерархическая соподчиненность блоков как пространственных объемов, выделенных в качестве порядков структуры относится как к геометрическим размерам и элементами ориентировки, так и к количественным характеристикам показателей, свидетельствующих об их современном напряженно-деформированном состоянии;

возрастающая подвижность пород с увеличением объемов (порядков) взаимодействующих структур вследствие относительных смещений блоков различных порядков.

Построение иерархической системы блоков, отражающей геологическую модель пород, заключается во включении в каждый последующий структурный уровень нового, присущего только ему структурного элемента, что можно выразить несколько видоизмененной структурной формулой [8]:

$$E(S_n) = E(S_n - 1) + S_i, \quad (5)$$

где  $E$  – структурный блок;  $S$  – структура;  $n$  – уровень организации (порядок) структуры;  $S_i$  – структурный элемент, формирующий блок  $n$ -го порядка.

При выделении блоков по структурным уровням должен соблюдаться принцип целостности объема, т.е. каждый блок должен иметь форму (геометрически замкнутое тело) и условно-непрерывным характер изменения показателя, по отношению к которому выделен данный объем в качестве самостоятельной структурной единицы. Непрерывность достигается усреднением показателя по блокам меньших порядков, включенных в данный объем.

В отличие от геологической модели геомеханическая модель отражает физико-механические параметры блока, в частности, прочностные и деформационные характеристики, для которых простое усреднение по блокам меньшего порядка не дает адекватной модели блока следующего по иерархии порядка.

Здесь вступает в силу свойство эмерджентности, согласно которому возникает свойство структуры (порядка  $n$ ), не присущее свойствам, составляющих ее элементов порядка  $n-1$ .

Этим свойством обусловлено, в частности, введение в практику инженерных расчетов на устойчивость подземных сооружений коэффициента структурного ослабления. Очевидно, что при переходе от одного порядка структур к следующему свойства нового порядка изменяются согласно вкладу в него нового структурного элемента.

Вместе с тем взаимообусловленность структур определяет контроль состояния блоков меньшего порядка по состоянию блоков большего, что дает возможность судить по оценке состояния блоков порядка  $n+1$ .

С целью выявления связи напряженного состояния с блочной структурой массива было осуществлено комплексное измерение напряжений по трем взаимно ортогональным направлениям с максимальной плотностью измерения (5,5 измерений на метр скважины) с идентификацией структуры пород по керну, непосредственным изучением трещиноватости в выработке в месте измерения, исследованием изменчивости минералогического состава, определением механических и деформационных характеристик кернов.

Результаты эксперимента подтвердили значимость структурного контроля в распределении напряжений в блочной структуре, что было сформулировано на основе обобщения данных измерений напряжения. Вместе с тем были установлены особенности в характере распределения напряжений в зависимости от местоположения точки измерения в структуре блока.

Вне зоны влияния выработки напряжения распределены в среднем пропорционально прочностным характеристикам.

$$\sigma = A[\sigma_{сж}], \quad (6)$$

где  $A$  – коэффициент пропорциональности;  $[\sigma_{сж}]$  – прочность при сжатии, МПа.

Эта пропорциональность естественным образом вытекает из того установленного фактора, что прочность породы пропорциональна модулю упругости и коэффициенту Пуассону. Отсюда же следует вывод о структурном контроле напряжений, поскольку прочность определяется структурой пород.

Характерной особенностью распределения напряжений в блоках является периодическое изменение углов ориентировки главных напряжений в соответствии с ориентировкой трещин и проявлениями деформаций (напряжений) растяжения на границах блока. Анализ изменения структуры внутри блоков выявил закономерность распределения в нем трещин, описываемую выражением

$$\left(\frac{l}{L}\right)^a = \frac{n}{N}, \quad (7)$$

где  $L$  – размер блока, м;  $N$  – число трещин в нем;  $l$  – расстояние от целой части блока до  $k$ -й трещины,  $k=1, 2, \dots, n$ . В данном случае  $a=1,5$ .

Представление о размерах границ раздела в иерархии блоков дает табл. 3, где выделено шесть порядков блоков и типов границ раздела, зафиксированных в натуральных условиях.

Таблица 3 – Порядок основных типов границ блоков

Уровень блока	Тип границы раздела	Порядок линейных размеров, м
S <sub>0</sub>	Трещины отдельности	10 <sup>-2</sup> –10 <sup>-1</sup>
S <sub>1</sub>	Трещины сдвига отрыва в одной разновидности породы	10 <sup>-1</sup> –10 <sup>0</sup>
S <sub>2</sub>	Зона дробления в одной разновидности пород	10 <sup>-1</sup>
S <sub>3</sub>	Междупородные контакты	10 <sup>-1</sup> –10 <sup>-2</sup>
S <sub>4</sub>	Тектонические трещины, сопровождающие зоны отжима и нагнетания	10 <sup>-1</sup> –10 <sup>-2</sup>
S <sub>5</sub>	Дизъюнктивные нарушения, сопровождающие складкообразование, рельефообразование	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup>

Первые три порядка определяют свойства и состояние отдельной разновидности пород, в частности, рудного тела, последующие порядки отражают свойства комплекса пород месторождения как единого целого, разделенного на части, взаимосвязанные через границы раздела. Следовательно, при возрастании масштабов отработки месторождения в процесс вовлекаются блоки большего порядка, что необходимо учитывать специально. Отсюда следует вывод о том, что распространение результатов эксперимента, полученных на локальном участке недопустимо на пространства большого масштаба. Это имеет непосредственное значение для планирования горных работ и параметров систем разработки при отработке протяженных рудных тел. В качестве масштабного критерия для учета влияния блоков различного порядка на проявления горного давления и сдвижения горных пород с возрастанием площади подработки можно принять соотношение

$$\frac{B_1 B_2}{L_n^2} \geq \lambda m_1 m_2 = \lambda M; \quad \frac{B_1}{L_n} \geq m_1 \lambda_1; \quad \frac{B_2}{L_n} \geq \lambda_2 m_2, \quad (8)$$

где  $B_1$  и  $B_2$  – наименьший и наибольший размеры площади подработки;  $L_n$ ,  $L_n$  – соответствующие размеры структурного блока  $n$ -го порядка;  $m_1$ ,  $m_2$  – критические параметры, при которых блоки  $n$ -го порядка приобретают способность к перемещению;  $\lambda$  – коэффициент, характеризующий подвижность блоков  $n$ -го порядка.

Установлено также, что в подавляющем большинстве зарегистрированных случаев обрушения подготовительных выработок приурочены к границам блоков 4–5 порядка (S<sub>4</sub>–S<sub>5</sub>). Цельность блоков при их опускании сохраняется (исключая контактные зоны), что было использовано для увеличения пролетов очистных камер.

Границами блоков 3–5 порядков являются зоны повышенной трещиноватости (зоны дробления), по которым происходит обрушение кровли в очистных

или подготовительных выработках.

Таким образом, в результате анализа выполненных исследований установлено, что структурно-морфологический контроль свойств и распределения напряжений в блочных породах позволяет выявить их отличия от сплошной среды; относительное перемещение блоков определяет подвижность пород, возрастающую по мере вовлечения в это движение более крупных порядков границ раздела, что предопределяет изменение характера проявления горного давления и сдвижения горных пород по мере увеличения масштабов воздействия на массив горных работ; выделяемая иерархия блоков и границ раздела позволяет прогнозировать изменение состояния выработок, используя для этой цели данные геологической разведки на ранних стадиях освоения месторождения и в процессе его эксплуатации; учет подвижности блоков позволяет более обоснованно подойти к планированию очередности отработки участков месторождения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медведев Р.В. Структурные неоднородности и их роль в формировании свойств горных пород // Р.В. Медведев, Э.В. Каспарян, Г.А. Ковалева / ФТПРПИ. – 1972. – №2. – С. 25-37.
2. Казикаев Д.М. Геомеханические процессы при совместной и повторной разработке руд / Д.М. Казикаев. – М.: Недра, 1981. – 288 с.
3. Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок / Г.Л. Фисенко. – М.: Недра, 1976. – 272 с.
4. Дзевомский Я. Инженерно-геологические исследования при гидротехническом строительстве / Я. Дзевомский, И.С. Комаров, Л.А. Молоков, Ф. Рейтер. – М.: Недра, 1981. – 352 с.
5. Добыча и обработка природного камня. Справочник. – М.: Недра, 1990. – 445 с.
6. Протопопов И.И. Влияние структуры блочных пород при распределении напряжений в горном массиве / И.И. Протопопов, В.Д. Талий, В.К. Пискарев, Ю.С. Афанасьев // Прогноз геомеханических процессов и управление горным давлением на шахтах / Сб. науч. тр. – Л.: ВНИМИ, 1985. – С. 84–93.
8. Геологические термины (терминологический справочник). – М.: Недра, 1986. – 324 с.

УДК 622.831.312

Канд. техн. наук И.Н. Слащев  
(ИГТМ НАН Украины)

### **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА ТЕКТОНИЧЕСКИ НАРУШЕННОГО СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНОГО ПОРОДНОГО МАССИВА**

Представлені математична модель та особливості формування обчислювальних процедур для оцінки напружено-деформованого стану тектонічно порушеного структурно-неоднорідного породного масиву.

### **THE DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL AND TECHNOLOGY OF COMPUTER ANALYSIS OF TECTONICALLY DISTURBED STRUCTURALLY-HETEROGENEOUS ROCK MASSIF**

A mathematical model and specific features of the computational procedures to evaluate the stress-strain state of tectonically disturbed structurally-heterogeneous rock massif.

Закономерности деформирования породного массива могут быть определены анализом изменений его напряженно-деформированного состояния (НДС) с помощью компьютерных систем, использующих концепцию объектно-