

СМЫСЛ КОЭФФИЦИЕНТА ПОПЕРЕЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ НЕРАВНОКОМПОНЕНТНОМ ОБЪЕМНОМ СЖАТИИ

Показано, що коефіцієнт поперечної деформації не є константою матеріалу, а є структурно-чутливою характеристикою.

В 1948-1955 г.г. под руководством О.Я. Берга [1] были выполнены микроскопические наблюдения над различными участками сжимаемых бетонных призм. Параллельно проводились измерения поперечных и продольных деформаций бетона. Было установлено, что при определенной степени нагрузки, задолго до призмной прочности, прирост поперечной деформации начинает интенсивно увеличиваться, достигая с ростом сжимающего усилия половины величины прироста продольной деформации, и превышая ее. Отношение прироста поперечной деформации к приросту продольной деформации назвали действительным значением коэффициента поперечной деформации. До этого коэффициент поперечной деформации отождествляли с коэффициентом Пуассона и считали константой материала. Было установлено, что начало роста действительного коэффициента поперечной деформации μ совпадает с возникновением микротрещин. Результаты измерения μ при увеличении сжимающей нагрузки показаны на рис.1.

По мнению авторов [1], когда μ превышает значение 0,5, математически это означает увеличение объема образца при сжатии, а физически- увеличение количества микротрещин, раскрытие микротрещин в поперечном направлении, их слияние и разрыхление материала.

Таким образом, большим значениям коэффициента поперечной деформации соответствуют перемещения, связанные с пластическими деформациями от развития микротрещин и с псевдопластическими деформациями от образования свободных поверхностей разрыва и перемещений структурных элементов как единых целых.

Если коэффициент Пуассона при малых величинах деформаций, с определенной условностью, можно считать константой материала, то при больших деформациях коэффициент поперечной деформации – это характеристика деформационных свойств композитного материала, состоящего из еще неповрежденного материала и пустот, образованных в результате накопления повреждений на микро- и макроуровнях.

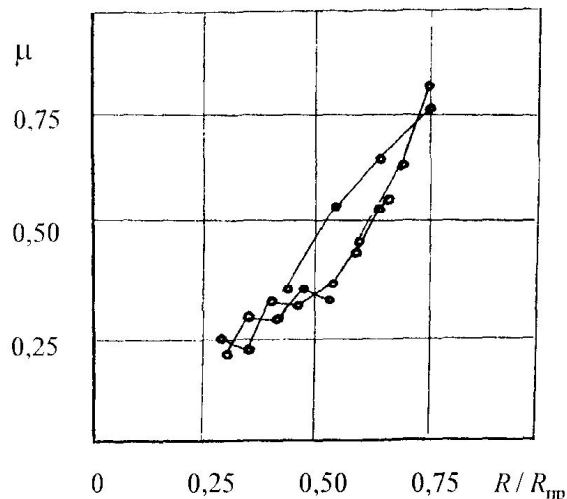


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента поперечной деформации μ от относительного сжимающего напряжения $R/R_{тп}$ (R - текущее напряжение, $R_{тп}$ - призмная прочность) [1]

При одноосном сжатии в поперечном направлении нет усилий, но есть деформации. Можно сказать, что коэффициент поперечной деформации при одноосном сжатии отражает реальную кинетику процесса деформирования в поперечном и продольном направлениях, следовательно является кинетическим параметром [2]. Будет ли он и в объемном напряженном состоянии отражать кинетику или отражать нереализованную возможность деформирования в поперечном направлении? Чему он будет равен экспериментально, а не теоретически? В учебной литературе такие данные отсутствуют. Количество научных публикаций на эту тему ничтожно мало, к тому же они неоднозначны.

В теории упругости И.А. Биргером [3] на основе кусочно-линейной аппроксимации диаграммы деформирования разработан метод переменных упругих параметров. В пределах каждого участка кусочно-линейной аппроксимации коэффициент поперечной деформации μ^1 зависит от интенсивности напряжений, интенсивности деформаций и коэффициента Пуассона μ :

$$\mu^1 = \frac{(1+\mu) - (1-2\mu)\varphi}{2(1+\mu) + (1-2\mu)\varphi},$$

где φ - функция пластичности, $\varphi = \Omega / \dot{\epsilon}$, $\Omega = \sigma / \sigma_T$; $\dot{\epsilon} = \epsilon_t / \epsilon_T$;

При $\varphi = 1$ коэффициент поперечной деформации совпадает с коэффициентом Пуассона, а при $\varphi = 0$ — стремится к 0,5.

По мнению автора [4] экспериментальные исследования носят качественный характер и не в полной мере отражают свойства материала. В работе обосновывается математическая модель расчета коэффициента поперечной деформации, основанная на электростатической природе упругости, расчетные и экспериментальные данные для металлов дают

ошибку не более 8,3%. Электромагнитную природу упругости автор считает доказанной и предлагает математическую модель расчета коэффициента Пуассона также и для поликристаллов.

Учитывая все вышесказанное, проанализируем экспериментальные данные о величине коэффициента поперечной деформации горных пород.

На рис. 2 приведены данные об изменении деформаций в аргиллитах по трем осям при объемном неравнокомпонентном сжатии, полученные авторами на установке УНТС конструкции ДонФТИ НАН Украины [5].

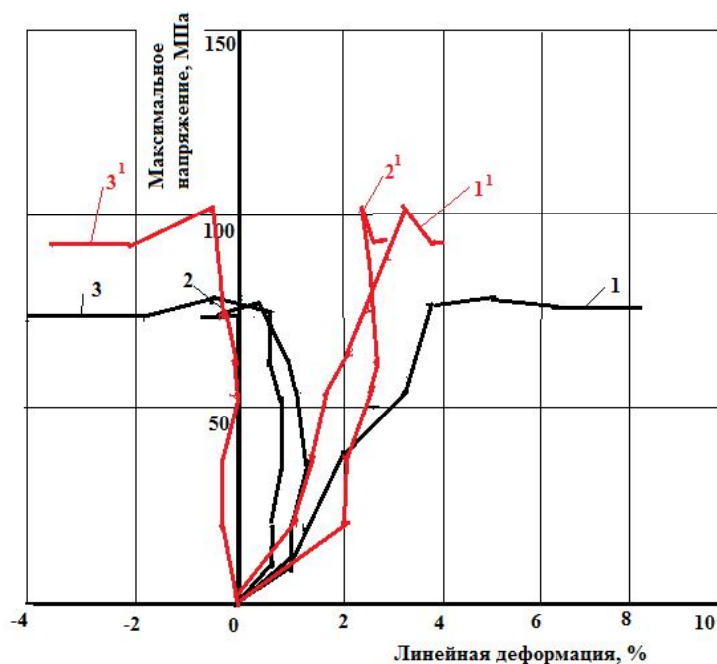


Рисунок 2 – Примеры изменения деформаций в аргиллитах по трем осям при неравнокомпонентном сжатии: 1,2,3 – $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 = 9$ МПа; 1¹, 2¹, 3¹ – при $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, $\sigma_2 = 14$ МПа; $\sigma_3 = 9$ МПа.

Без расчетов видно, что модули деформации, а, значит, и коэффициент поперечной деформации меняются в процессе нагружения. Расчетные данные упругих параметров для различных напряженных состояний приведены в таблице 1.

В таблице для примера приведены данные только для обобщенного сжатия, однако, учитывая все экспериментальные данные для аргиллитов, можно сделать следующие выводы:

1. При давлениях до 5-6 иногда до 10 МПа коэффициент поперечной деформации аргиллитов практически одинаков во всех экспериментах и составляет 0,37-0,4.
2. При дальнейшем нагружении он начинает уменьшаться, принимая иногда даже отрицательные значения.

Таблица 1

Упругие параметры аргиллитов

№ обр.	σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	σ_3 , МПа	ε_1 , %	ε_2 , %	ε_3 , %	Модуль объемного сжатия К, МПа	Модуль сдвига G, МПа	Кэф. попер. деформ. μ
1	11	0	0	0,6	0	0	666	433	0,23
	20			0,8	0	0	1021	1050	0,12
	30			1,2	0,1	-0,3	1472	480	0,35
	39			1,7	0,2	-0,8	6115	307	0,48
	45,5			2,0	0,4	-1,8	-499	136	0,65
	36			3,8	0,2	-3,8	830	-96	0,58
	36			5,5	0,1	-5,8	0	0	
2	10	9	9	1,0	0,9	0,6	384	83	0,4
	18			1,2	0,9	0,6	1366	925	0,22
	39			2,0	1,1	0,7	628	825	0,04
	52			2,5	1,0	0,7	1017	620	0,25
	64			3,2	0,8	0,6	1012	350	0,34
	76			3,8	0,6	0,6	1157	475	0,32
	80			5,1	0,2	-0,5	-1738	48	0,51
	78			6,5	-0,2	-1,9	164	-23	0,57
	78			8,3	-0,8	-4,0	0	0	
3	41	20	20	1,1	0,7	1,3	889	990	0,09
	84			1,4	0,9	1,7	1656	5075	-0,26
	128			2,0	0,9	1,6	2526	5175	-0,11
	141			2,7	0,9	1,4	975	508	0,28
	188			4,7	0,9	0,5	1442	483	0,35
	197			6,3	0,4	-0,5	1673	96	0,47
	206			12,0	-1,7	-4,7	2281	25	0,49
	207			13,8	-2,1	-5,6	48	10	0,40
	197			14,6	-2,4	-5,0	-287	-480	-0,04
	197			15,5	-2,6	-6,7	0	0	

3. При нагрузке равной 2/3 от разрушающей коэффициент поперечной деформации снова начинает увеличиваться, принимая при разрушении значения близкие к 0,5 и более.

4. Бывают случаи, когда после приближения значения коэффициента к 0,5, происходит снова его уменьшение вплоть до отрицательных значений.

Для наглядности изменения коэффициента поперечной деформации аргиллита в зависимости от степени нагруженности показаны на рис.3.

Следует обратить внимание на изменение модуля объемного сжатия. В большинстве случаев он скачкообразно нарастает, проходит точку бифуркации и меняет знак на обратный, что свидетельствует о структурно-фазовом переходе третьего рода (уменьшение объема сменяется

увеличением). В механике разрушения это явление называют дилатансией. При этом коэффициент поперечной деформации принимает значения больше 0,5 или отрицательные.

В большинстве случаев модуль объемного сжатия больше модуля сдвига. Однако на начальных стадиях нагружения в ряде случаев приращение сдвиговой деформации практически отсутствует, идет интенсивное уменьшение объема, и модуль сдвига становится больше модуля объемного сжатия. Коэффициент поперечной деформации при этом принимает отрицательные значения. Аналогичная ситуация наблюдается на стадии разрушения, когда структурно-фазовый переход третьего рода сменяется переходом первого рода (изобарное скачкообразное уменьшение объема).

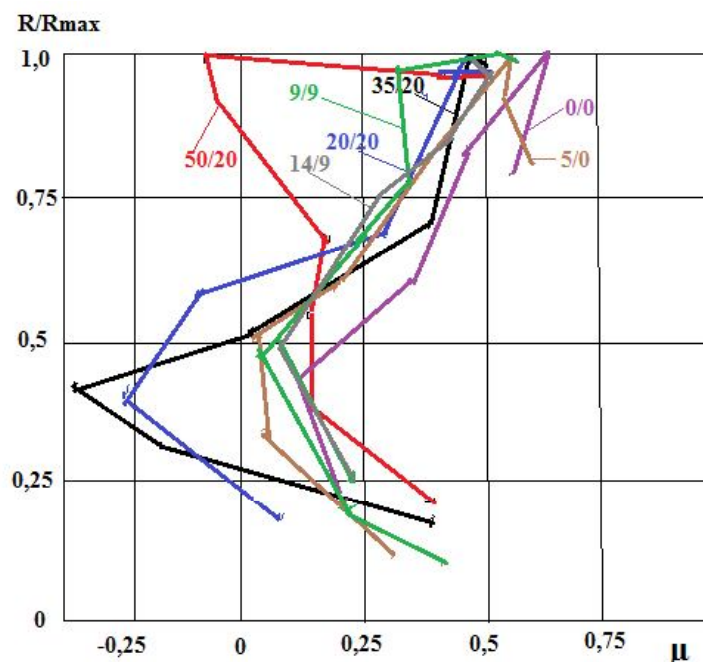


Рисунок 3 – Изменение коэффициента поперечной деформации от степени нагруженности образца

Учитывая, что упругие параметры горных пород изменяются в процессе нагружения, возникает некоторая неопределенность при анализе их зависимости от глубины, вида напряженного состояния, влажности, газонасыщенности и других влияющих факторов. Всегда возникает вопрос: «О какой величине идет речь?» Как показано на рис.4, даже при интерпретации диаграмм «напряжение-деформация» в виде кусочно-линейной функции получаем не менее 6-7 разных значений упругих параметров. Если же диаграммы изображать в виде гладкой кривой, то упругие параметры будут меняться от точки к точке. Поэтому, если анализировать их зависимости от глубины, вида напряженного состояния, или других факторов, нужно говорить о средних допредельных величинах

(до предела сжимаемости), поскольку на пределе сжимаемости ряд упругих параметров меняют знак.

В связи с вышеуказанным, к результатам работ [6-7] нужно относиться очень осторожно, поскольку не ясна методика определения упругих параметров.

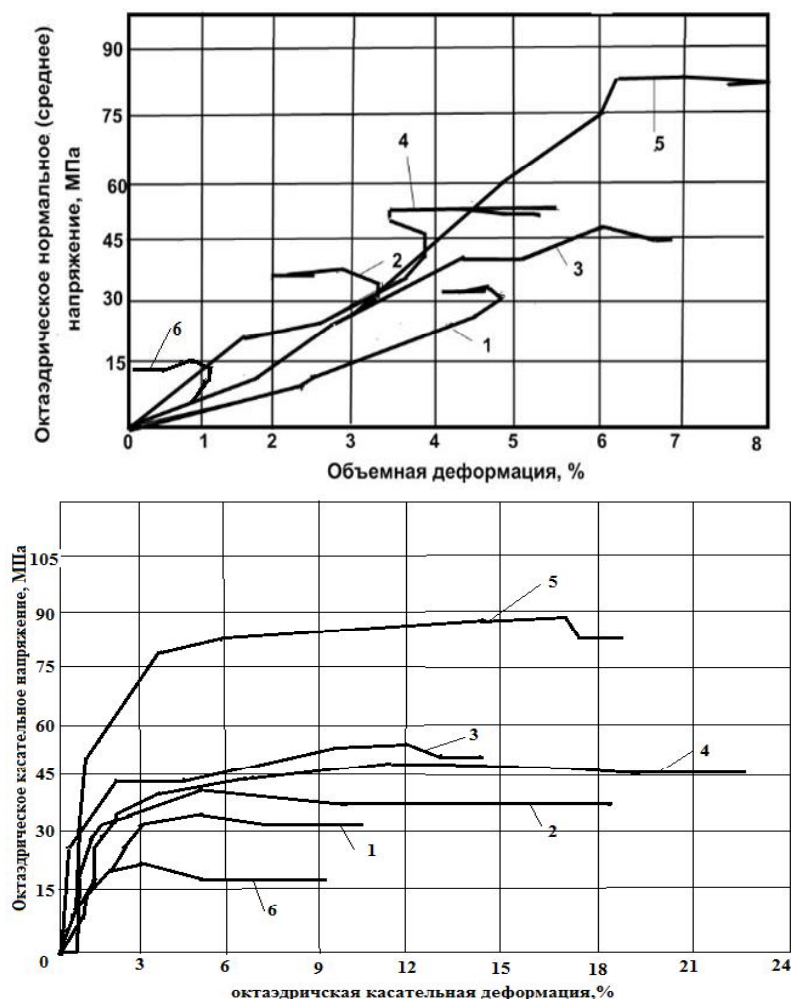


Рисунок 4 – Диаграммы испытаний аргиллитов в объемном поле сжимающих напряжений: 1,2,3 – $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 = 9 \text{ МПа}$; 4 - $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, $\sigma_2 = 20 \text{ МПа}$, $\sigma_3 = 16 \text{ МПа}$; 5- $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 = 20 \text{ МПа}$; 6- $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 = 0$.

Таким образом, коэффициент поперечной деформации не является константой материала, а является его структурно-чувствительной характеристикой. Его скачкообразные изменения в пределах от 0 до 0,5 свидетельствуют о скачкообразном изменении модулей упругости в процессе структурно-фазовых переходов второго рода. Увеличение значения коэффициента поперечной деформации более 0,5 свидетельствует о структурно-фазовых переходах третьего рода (уменьшение объема образца сменяется увеличением). Когда коэффициент

поперечной деформации принимает отрицательные значения – это свидетельство запрещенных сдвиговых деформаций и изобарного уменьшения объема (структурно-фазовых переходов первого рода).

Литература:

1. Берг О.Я. Некоторые физические обоснования теории прочности бетона // Теория расчета и конструирования железобетонных конструкций. – М.: Госстройиздат, 1958. – С. 14 – 22.
2. Потапов Л.Б., Ярцев В.П. Механика материалов при сложном напряженном состоянии. – М.: изд-во «Машиностроение-1», 2005.- 244с.
3. Биргер И.А. Некоторые общие методы решения задач теории пластичности // Прикладная математика и механика. – 1951. – Т. 15. – № 6. – С. 765 – 770.
4. Бадамшин И.Х. Расчет коэффициента поперечной деформации (Пуассона) монокристаллов на основе электростатической природы упругости.- Уфа: Вестник УГАТУ, Т.10.- №1 (26). С.57-59.
5. Алексеев А.Д., Осыка Е.И., Тодосейчук А.Л. АС СССР №394692. БИ, 1973, №34.
6. Ревва В.Н., Бачурин Л.Л., Кравченко А.В., Василенко Н.И. Влияние вида напряженного состояния на механические свойства углей при разрушении их в условиях объемного сжатия. //Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: ИФГП НАН Украины, 2006.- Вып.9.- С.97-101.
7. Молодецкий А.В., Ревва В.Н. Влияние глубины залегания угольных пластов на механические свойства угля. // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: ИФГП НАН Украины, 2009.- Вып.12.- С.55-58.

УДК 622.83

РЯЗАНЦЕВ Н.А., РЯЗАНЦЕВ А.Н., РЯЗАНЦЕВА Н.А. (КИИ ДонНТУ)

О ЧЕМ СВИДЕТЕЛЬСТВУЕТ НАЛИЧИЕ ВЫВАЛОВ В КРОВЛЕ И ПУЧЕНИЕ ПОЧВЫ

Наведені дані на користь гравітаційно-тектонічного напруженого стану гірського масиву

Факт разрушения пород на контуре выработки означает, что действующие на ее контуре максимальные напряжения σ_{\max} достигли или превысили предел прочности массива на объемное трехосное сжатие σ_m . Разрушение кровли и почвы – явный признак того, что в массиве максимальными по величине являются горизонтальные напряжения, то