

К МЕТОДИКЕ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ

Ю. Н. ПОПОВ

(Представлена профессором доктором К. В. Радугиным)

Предлагаемая ниже методика количественной оценки тектонической трещиноватости нашла применение при изучении последней в забоях горных выработок шахт и карьеров, а также в естественных обнажениях горных пород. От существующих методик она отличается упрощением расчетов, что весьма существенно при количественной оценке трещиноватости в полевых условиях.

В качестве основного параметра, характеризующего систему трещин количественно, принято усредненное истинное расстояние между трещинами системы. При невыровненной поверхности забоя или обнажения и небольших расстояниях между трещинами иногда представляется возможность измерить истинные расстояния между поверхностями трещин системы. В большинстве же случаев удается наблюдать следы трещин, пересекающих поверхность забоя или обнажения (поверхность экспозиции). При этом измеряются кратчайшие расстояния между следами трещин отдельной системы в метрах. Определение истинных расстояний между трещинами требует пересчета для введения поправки на произвольное положение поверхности экспозиции по отношению к поверхности трещины.

Большинство забоев горных выработок вертикальны или почти вертикальны, часто встречаются вертикальные поверхности обнажений горных пород. При этих условиях пересчет видимых расстояний между трещинами на истинные будет выглядеть следующим образом.

На рис. 1а, показан куб с вертикальными гранями. Предположим, что этот куб вырезан из толщи породы с таким расчетом, чтобы грань АОА'О' являлась поверхностью экспозиции, на которой измерены кратчайшие видимые расстояния между следами трещин системы ($r_{\text{вид}}$). Следует определить истинные расстояния между трещинами этой системы (r).

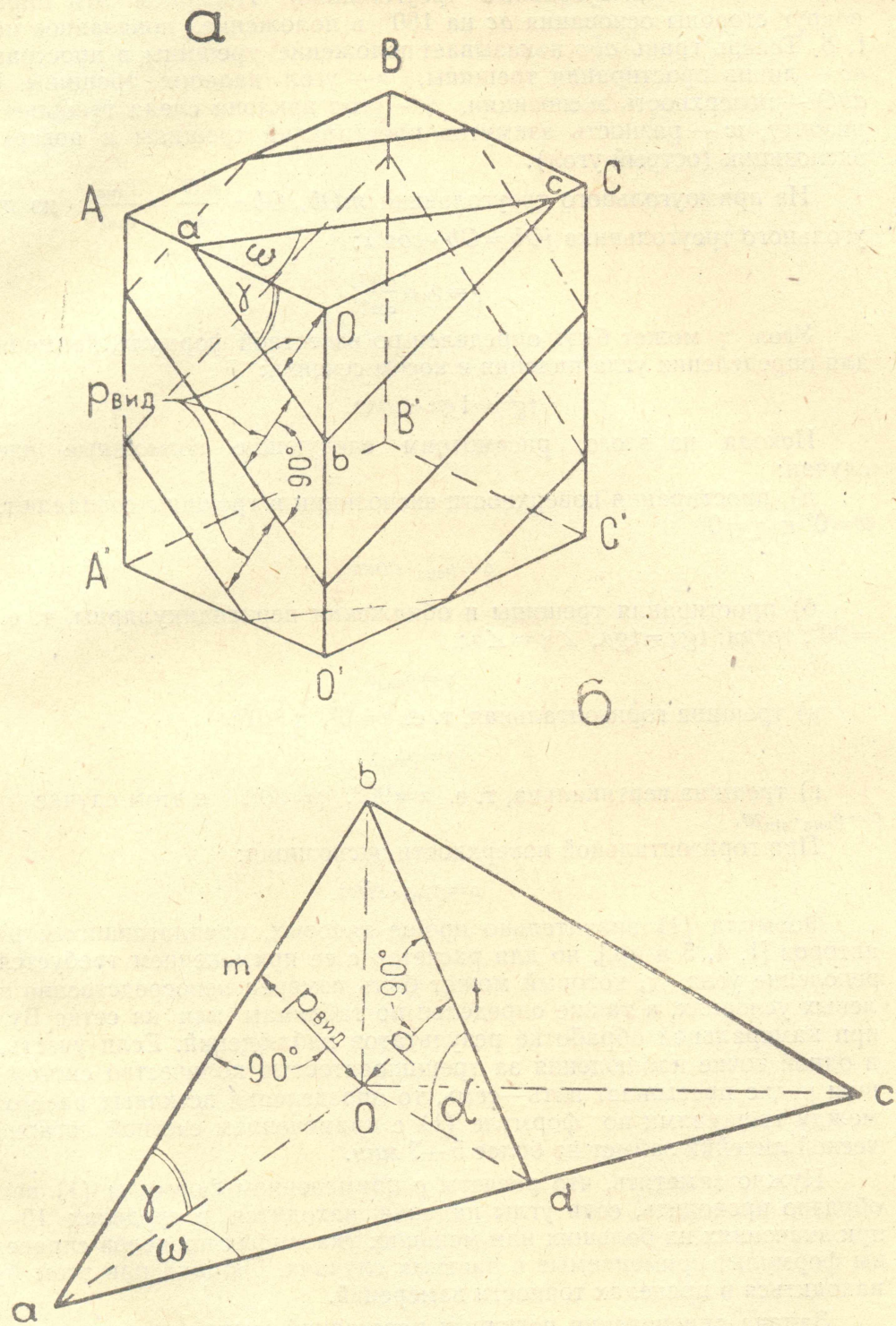


Рис. 1. а — способ измерения видимых расстояний ($R_{\text{вид}}$) между трещинами системы; б — характер зависимости видимых ($R_{\text{вид}}$) и истинных (R) расстояний между трещинами системы от взаимной ориентировки трещин и поверхности экспозиции

Из рис. 1, а видно, что при вершине O плоскость трещины выкраивает трехгранную пирамиду $aOcd$, основание которой aOc и две грани aOd и cOd — прямоугольные треугольники. Повернем эту пирамиду вокруг стороны основания ac на 180° в положение, показанное на рис. 1, б. Теперь грань abc показывает положение трещины в пространстве, ac — линия простирания трещины, α — угол падения трещины. Грань abO — поверхность экспозиции, γ — угол наклона следа трещины к горизонту, ω — разность азимутов простираний трещины и поверхности экспозиции (острый угол).

Из прямоугольного треугольника mOb , $Ob = \frac{mO}{\cos \gamma} = \frac{\rho_{\text{вид}}}{\cos \gamma}$, из прямоугольного треугольника $jOb = Ob \cdot \cos \alpha$;

$$\rho = \rho_{\text{вид}} \frac{\cos \alpha}{\cos \gamma}; \quad (1)$$

Угол γ может быть определен по известной формуле, применяемой для определения угла падения в косом сечении:

$$\text{tg} \gamma = \text{tg} \alpha \cdot \sin \omega. \quad (2)$$

Исходя из этого, рассмотрим следующие возможные частные случаи:

а) простирания поверхности экспозиции и трещины совпадают, т. е. $\omega = 0^\circ$ и $\gamma = 0^\circ$

$$\rho = \rho_{\text{вид}} \cdot \cos \alpha;$$

б) простирания трещины и обнажения перпендикулярны, т. е. $\omega = 90^\circ$, тогда: $\text{tg} \gamma = \text{tg} \alpha$, $\angle \gamma = \angle \alpha$;

$$\rho = \rho_{\text{вид}};$$

в) трещина горизонтальная, т. е. $\alpha = 0^\circ$, $\gamma = 0^\circ$;

$$\rho = \rho_{\text{вид}};$$

г) трещина вертикальна, т. е. $\alpha = 90^\circ$, $\gamma = 90^\circ$, в этом случае $\rho = \rho_{\text{вид}} \cdot \sin \omega$.

При горизонтальной поверхности экспозиции:

$$\rho = \rho_{\text{вид}} \cdot \sin \alpha.$$

Формула (1) значительно проще таковых, предлагавшихся рядом авторов [1, 4, 5 и др.], но для расчетов с ее применением требуется определение угла γ , который может быть измерен непосредственно в полевых условиях, а также определен по таблицам или на сетке Вульфа при камеральной обработке результатов наблюдений. Если учесть, что в одной точке наблюдения за трещиноватостью количество систем трещин редко превышает пять—семь, то определение истинных расстояний между трещинами по формуле (1) с применением счетной логарифмической линейки займет не более 5—7 мин.

Нужно заметить, что расчеты с применением формулы (1) целесообразно проводить, если углы падения находятся в пределах 10 — 80° , при значениях их больших или меньших указанных пределов справедливы формулы, применяемые в частных случаях. Ошибка при этом будет находиться в пределах точности измерений.

Задача определения истинных расстояний между трещинами существенно усложняется, если поверхность экспозиции наклонена к горизонту под некоторым углом.

В этом случае применяются способы графического, графо-аналитического и аналитического определения истинных расстояний между трещинами системы. Они основаны на определении величины двугранного угла между поверхностями трещины и экспозиции с последующим ве-

дением поправки в измеренное кратчайшее расстояние между следами трещин ($\rho_{\text{вид}}$).

Как известно, величина двугранного угла, образованного двумя плоскостями, измеряется в плоскости, перпендикулярной этим плоскостям, т. е. перпендикулярной к линии их пересечения. В нашем случае линией пересечения плоскостей трещины и обнажения является след трещины на поверхности экспозиции, следовательно, линии кратчайших видимых расстояний между трещинами, расположенные по нормали к

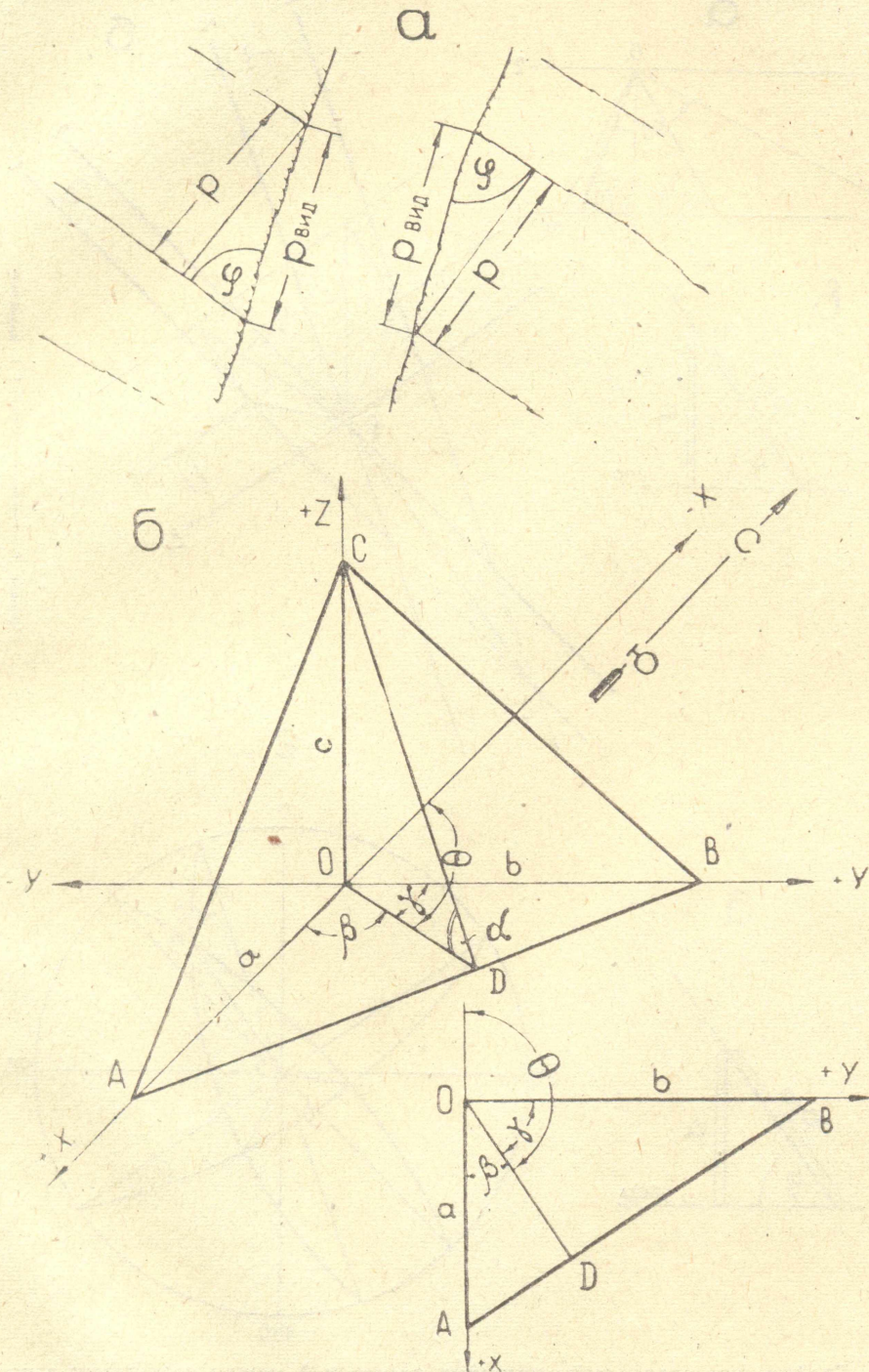


Рис. 2. а — взаимоотношение измеренных и истинных расстояний между трещинами в плоскости, перпендикулярной к поверхностям трещины и экспозиции; б — положение трещины в системе прямоугольных координат

следам, лежат в плоскости, где определяется величина двугранного угла — φ . На рис 2,а показано сечение блока горной породы такой плоскостью. Из рисунка видно, что:

$$\rho = \rho_{\text{вид}} \cdot \sin \mu. \quad (3)$$

Величину двугранного угла φ можно определить графически в проекции с числовыми отметками или на сетке Вульфа (рис. 3). В расчет берется острый угол.

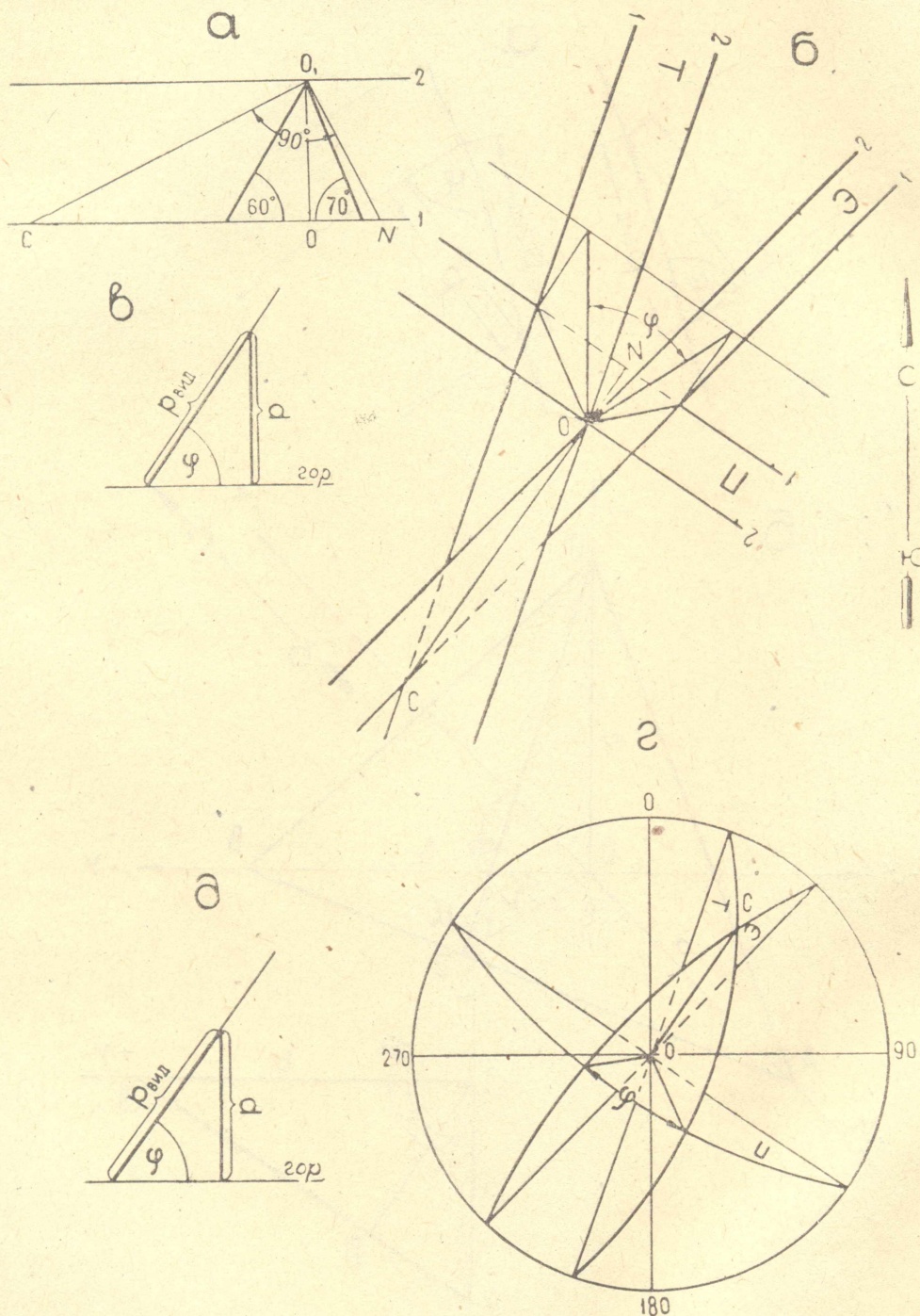


Рис. 3. Графическое определение истинных расстояний между трещинами в проекции с числовыми отметками: а — масштаб заложений; б — определение величины двугранного угла φ между плоскостями трещины — Т и экспозиции — э; в — определение ρ по $\rho_{\text{вид}}$ и φ и на сетке Вульфа; г — определение угла φ ; д — определение ρ

Чтобы определить величину угла между двумя плоскостями, заданными элементами залегания, аналитически, нужно найти уравнения этих плоскостей и затем по известным формулам аналитической геометрии определить угол φ . Уравнение плоскости (азимут падения — Θ , угол падения — α) можно записать посредством уравнения плоскости в отрезках на осях координат, при условии, если плоскость XOY системы прямоугольных координат горизонтальна, а ось x ориентирована по меридиану (рис. 2, б).

Уравнение плоскости в отрезках на осях имеет вид [3]

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} + \frac{z}{c} = 1,$$

где a, b, c — отрезки на соответствующих осях координат. Из рис. 2, б видно, что отрезки на осях, отсекаемые плоскостью ACB , можно найти из трех прямоугольных треугольников AOD, COD, BOD , имеющих общую сторону OD , которую можно принять за единицу.

$$AO = a = \frac{OD}{\cos\beta}; \quad BO = b = \frac{OD}{\cos\gamma}; \quad OC = c = OD \operatorname{tg}\alpha.$$

Но $\beta = 180^\circ - \Theta$, $\gamma = \Theta - 90^\circ$, $OD = 1$, тогда $a = \frac{1}{\cos\Theta}$; $b = \frac{1}{\sin\Theta}$; $c = \operatorname{tg}\alpha$.

Подставив полученные значения в уравнение плоскости, получим

$$x \cdot \cos\Theta + y \cdot \sin\Theta + \frac{z}{\operatorname{tg}\alpha} = 1.$$

Указанным образом, учитывая знаки величин отрезков на осях, можно записать уравнение любой плоскости. Если значение отрезка z всегда положительно, то знаки отрезков x и y изменяются в зависимости от

Таблица 1

Зависимость между ориентировкой плоскостей и знаками отрезков, отсекаемых ими на осях координат

Румбы	Интервалы изменения азимутов падения	Знаки отрезков		Предельные значения	Знаки отрезков	
		$a(\cos\Theta)$	$b(\sin\Theta)$		Θ°	$a(\cos\Theta)$
СВ	0—90	—	+	0	—	0
ЮВ	90—180	+	+	90	0	+
ЮЗ	180—270	+	—	180	+	0
СЗ	270—360	—	—	270	0	—

азимутов падения плоскости (табл. 1). После приведения уравнения плоскости к нормальному виду получим

$$\cos\Theta \cdot \operatorname{tg}\alpha x + \sin\Theta \cdot \operatorname{tg}\alpha y + z - \operatorname{tg}\alpha = 0.$$

Угол между двумя пересекающимися плоскостями определяется по формуле [3] $\cos\varphi = \pm \frac{A \cdot A + B \cdot B + C \cdot C}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2} \sqrt{A_2^2 + B_2^2 + C_2^2}}$.

В нашем случае $A = \cos\Theta \cdot \operatorname{tg}\alpha$, $B = \sin\Theta \operatorname{tg}\alpha$, $C = 1$. Тогда угол между двумя плоскостями, заданными элементами залегания Θ_1, α_1 и Θ_2, α_2 , определится после ряда преобразований по формуле

$$\cos\varphi = \pm (\cos\Theta_1 \cdot \cos\Theta_2 + \sin\Theta_1 \cdot \sin\Theta_2) \sin\alpha_1 \cdot \sin\alpha_2 + \cos\alpha_1 \cdot \cos\alpha_2. \quad (4)$$

Истинные расстояния между трещинами (ρ) можно определить, подставив значение φ в формулу (3),

$$\rho = \rho_{\text{вид}} \cdot \sin [\arccos \pm (\cos \Theta_1 \cdot \cos \Theta_2 + \sin \Theta_1 \cdot \sin \Theta_2) \sin \alpha \cdot \sin \alpha_2 + \cos \alpha^1 \cdot \cos \alpha_2] \text{ или, зная величину } \cos \varphi, \quad (5)$$

$$\rho = \rho_{\text{вид}} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}. \quad (6)$$

Аналитическое решение задачи, как видим, довольно трудоемко, оно может быть использовано для контроля графических определений истинных расстояний между трещинами системы.

В литературе при количественной оценке трещиноватости пользуются обычно частотой трещин — количеством трещин определенной системы, приходящихся на ориентированный отрезок определенной длины. Мы приняли за частоту (n) количество трещин системы пересекающих перпендикулярный к ним отрезок прямой длиной в 1 м.

$$n = \frac{1}{\rho}.$$

Совокупность систем, изученных в точке наблюдения за трещиноватостью, количественно характеризует удельная густота трещиноватости, показывающая, сколько трещин различных систем пересекает шар диаметром в 1 м. Удельная густота равна сумме частот всех, представленных в точке наблюдения, систем трещин [2].

$$N = \sum_{i=1}^{i=n} n_i \quad \text{или} \quad N = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\rho_i},$$

где N — удельная густота трещин, n_i — частота трещин определенной системы, ρ_i — истинные расстояния между трещинами отдельной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Букринский, В. В. Михайлова. Изучение связи трещиноватости с тектоническими структурами горных пород. М., 1963.
2. В. М. Воробьев. К методике количественной оценки трещиноватости горных пород. Тр. II Всес. совещ. по проблеме трещинных коллекторов нефти. 1965.
3. М. Я. Выгодский. Справочник по высшей математике. ФМ, 1963.
4. М. Н. Полянский. Математическое обоснование метода изучения макро-трещиноватости осадочных горных пород. Изв. вузов. Геол. и разв., 1963, № 12.
5. Е. М. Смехов. Трещиноватые породы и их коллекторские свойства. Тр. ВНИГРИ, вып. 132, 1959.