

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДИАГРАММ ТРЕЩИНОВАТОСТИ, ПОСТРОЕННЫХ ПО ДАННЫМ ОПТИЧЕСКОГО СКАНИРОВАНИЯ СКВАЖИН

А.С. Копытин<sup>1</sup>, В.С. Кузьмин<sup>1\*</sup>, В.А. Бударина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Институт Гидропроект»

\*Российский университет дружбы народов

<sup>2</sup>Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 12 сентября 2014 г.

**Аннотация:** на плотность точек на диаграмме трещиноватости, помимо неравномерной густоты трещин различной ориентировки, оказывает влияние ориентировка скважины. В работе предложено математическое решение для устранения влияния ориентировки скважин на структуру плотности точек диаграммы трещиноватости, построенную по данным оптического сканирования её стенок.

**Ключевые слова:** трещиноватость скальных пород, оценка трещиноватости, диаграммы трещиноватости, вероятностное пространство, плотность точек.

### MATHEMATICAL SOLUTION FOR THE QUALITY IMPROVEMENT OF FRACTURING CHARTS CONSTRUCTED ON BOREHOLE OPTICAL SCANNING DATA

**Abstract:** as far as point density on fracturing charts is concerned the uneven jointing structures within the boreholes orientation have an impact on this density. The mathematical solution for elimination of boreholes orientation influence on the structure of fracturing charts point density getting by borehole optical scanning method is provided.

**Key words:** rocks jointing (fracturing), fracturing assessment, fracturing charts, probabilistic space, point density.

Диаграммы трещиноватости на стереографических проекциях полусферы на плоскость находят широкое применение в инженерной геологии и геоэкологии. Анализ структуры плотности точек на диаграмме позволяет группировать тектонические трещины по принадлежности к той или иной ориентировке, то есть выделять системы трещин определенной ориентировки, что актуально при решении инженерных задач, связанных с оценкой деформационных, прочностных и фильтрационных свойств трещиноватых пород. Поскольку структура плотности точек на диаграммах трещиноватости влияет на принимаемые инженерные решения, возникает необходимость повышения их достоверности.

Есть два пути увеличения достоверности диаграмм: экстенсивный и интенсивный. В первом случае достоверность диаграмм повышается путем увеличения количества замеров ориентировки трещин, поскольку достаточно очевидно, что диаграммы тем более достоверны, чем больше замеров ориентировки трещин было использовано при их построении. Однако этот путь повышения достоверности диаграмм имеет свои ограничения. На ограниченном пространстве обнажения или стенке горной выработки возможность выполнять замеры трещин также ограничена. Чтобы сформировать достаточно представительную выборку замеров необходимо увеличивать количество обнажений или горных выработок. При этом увеличение объема выборки сопровождается увеличением объема изучаемого пространства, а «плот-

ность» изучения (число замеров на единицу объема изучаемого пространства) остается неизменным.

Интенсивный путь повышения достоверности диаграмм предполагает улучшение качества «плотности» изучения пространства. Эта задача решается посредством анализа факторов, оказывающих искажающее влияние на структуру плотности точек диаграммы. Так, в работе [1] отмечено, что при построении диаграмм трещиноватости по замерам ориентировки трещин в обнажениях на структуру плотности точек оказывают влияние три фактора. К ним относятся: 1) неравномерная густота трещин различной ориентировки в скальном массиве; 2) ориентировка плоскости обнажения; 3) процессы, формирующие поверхность обнажения (траектория отрыва, формирующая поверхность обнажения, которая использует имеющиеся плоскости трещин). В указанной работе предложено математическое решение для устранения влияния 2-го и 3-го факторов на структуру плотности точек.

В последние годы (особенно в зарубежной практике) получили развитие методы изучения трещиноватости с помощью оптического (или акустического) сканирования ствола скважин. Эти методы позволяют выполнять инструментальные измерения ориентировки и ширины трещин. К сожалению, широкое внедрение в практику изысканий этих методов ограничивается их недостатками. Так как вероятность пересечения вертикальной скважиной горизонтальной трещины заведомо выше, чем вероятность пересечения крутопадающей трещины, структура плотности точек на

диаграмме трещиноватости, построенной по данным оптического сканирования, будет искаженной. Следовательно, при формировании выборки замеров ориентировки трещин по материалам оптического сканирования на качество выборки (и диаграммы) искажающее влияние оказывает ориентировка скважины.

Целью данной работы является поиск математического решения, позволяющего минимизировать искажающее влияние ориентировки скважины на структуру плотности точек диаграммы, что, в контексте вышесказанного, равнозначно повышению достоверности диаграммы интенсивным путем.

Таким образом, объектом исследования является плотность точек на диаграмме трещиноватости, которая обусловлена двумя факторами: 1) густотой трещин различной ориентировки в скальном массиве; 2) ориентировкой скважины. Решение задачи предполагает построение математической модели для описания плотности точек на диаграмме трещиноватости, обусловленной как первым, так и вторым факторами. Задача упрощается, если предположить, что мы имеем дело с хаотической трещиноватостью (густота трещин разной ориентировки равномерна).

В качестве математической модели плотности то-

чек для массива с хаотической трещиноватостью без искажающего влияния 2-го фактора может быть предложено вероятностное пространство *в широком смысле* [4]. Для этого достаточно задать множество  $\{\Omega, \mathcal{A}, P\}$ , где  $\Omega$  – пространство элементарных событий;  $\mathcal{A}$  – алгебра, порожденная разбиением множества  $\Omega$  на подмножества;  $P$  – вероятностная мера – функция, заданная на  $\mathcal{A}$ .

Для построения вероятностного пространства *в широком смысле* воспользуемся воображаемой полусферой единичного радиуса, проектирование которой на плоскость образует стереографическую проекцию – градусную сетку диаграммы трещиноватости. Предположим, что центр полусферы (точка O) является началом декартовых координат  $X', Y', Z'$  (ось  $Z'$  параллельна оси скважины, а оси  $X', Y'$  не обязательно совпадают с географическими координатами  $X, Y$ ).

Обозначим через  $\Omega$  множество точек верхней полусферы. Выберем на  $\Omega$  произвольную точку M. Её положение в пространстве зададим сферическими координатами  $(\varrho, \gamma, \psi)$ , где  $\varrho=R$  – длина радиус-вектора  $\vec{OM}$ ;  $\gamma$  – долгота;  $\psi$  – полярное расстояние (рис. 1, а).

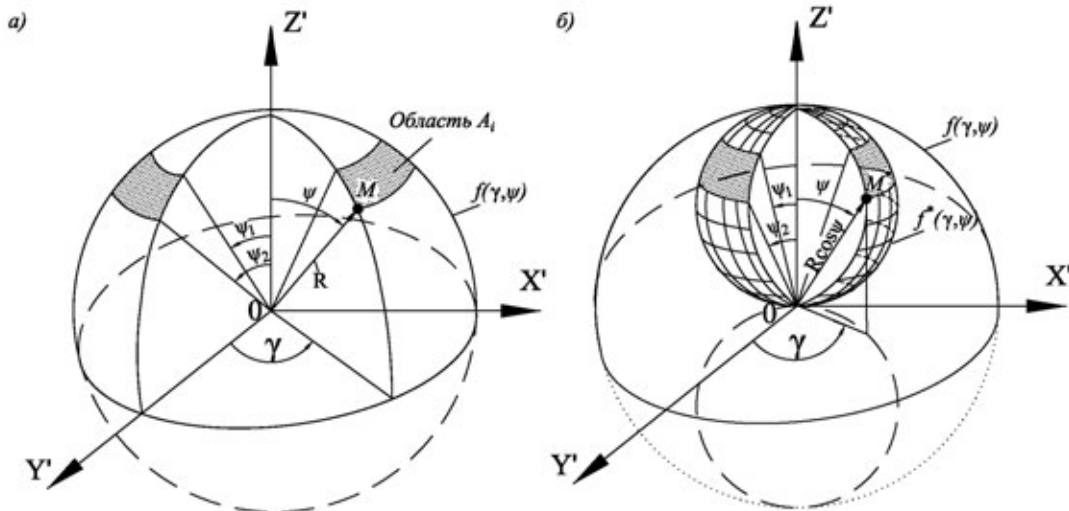


Рис. 1. Графическое представление вероятностного пространства для «сферического» (а) и «гантелевидного» (б) распределения точек.

Если вращать отрезок OM вокруг оси  $Z'$ , сохраняя неизменным угол  $\psi$ , он очертит в пространстве коническую поверхность, а точка M – некоторую окружность, лежащую на полусфере. Конечное число  $n$  таких окружностей, задаваемых углами  $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \dots, \psi_n$ , обеспечивает разбиение множества  $\Omega$  на конечное число  $n+1$  интервалов – непересекающихся подмножеств  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_{n+1}$  множества  $\Omega$ . Система этих подмножеств порождает алгебру  $\mathcal{A}$ , обладающую тремя свойствами [2]: 1)  $\Omega \in \mathcal{A}$ ; 2) из условия  $A_i \in \mathcal{A}$  и  $A_j \in \mathcal{A}$  следует, что  $A_i \cup A_j \in \mathcal{A}$ ,  $A_i \cap A_j \in \mathcal{A}$ ; 3) если  $A_i \in \mathcal{A}$ , то  $A_j \in \mathcal{A}$ .

Интервалы  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_{n+1}$  являющиеся элементами алгебры  $\mathcal{A}$ , назовем случайными событиями или областями событий; событие  $A_i$  – попаданием точки с координатами  $(\varrho, \gamma, \psi)$  в интервал  $A_i$  ( $-\pi \leq \gamma \leq \pi$ ;  $\psi_1 \leq \psi \leq \psi_2$ ).

Определим вероятностную меру  $P$  как функцию, определенную на множествах  $A_1, A_2, \dots, A_{n+1}$  из  $\mathcal{A}$  и обладающую следующими свойствами [2]:

- 1)  $P(A_i) \geq 0$ , для любого  $A_i \in \mathcal{A}$ ;
- 2)  $P(\Omega) = 1$ ;
- 3) если  $A_1, A_2, \dots, A_{n+1} \in \mathcal{A}$ , и  $A_i \cap A_j = \emptyset$  ( $i \neq j$ ), то

$$P\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n P(A_i).$$

Придадим принятому выше соглашению о хаотической трещиноватости массива вероятностную интерпретацию. Под хаотической будем понимать такую трещиноватость, при которой точки (замеры ориентировки трещин) распределены на поверхности полусферы с равномерной плотностью, а вероятность события  $A_i$  будет численно равна нормированной площади поверхности  $S(A_i)$  области  $A_i$  поверхности  $\Omega$ :

$$P[(A)_i] = \frac{S(A_i)}{S(\Omega)}$$

Запишем интеграл вероятности достоверного события:

$$P(\Omega) = \int_{\gamma_1=-\pi}^{\gamma_2=\pi} \int_{\psi_1=0}^{\psi_2=\frac{\pi}{2}} f(\gamma; \psi) d\gamma d\psi = 1 \quad (1)$$

Подынтегральная функция  $f(\gamma; \psi)$  является плотностью распределения и может быть выражена через элемент поверхности сферы (элемент вероятности) [3, с. 165, 186]  $dS = R^2 \sin \psi d\gamma d\psi$  следующим образом:

$$f(\gamma; \psi) d\gamma d\psi = R^2 \sin \psi \frac{1}{2\pi R^2} d\gamma d\psi \quad (2)$$

где  $2\pi R^2$  – площадь полусферы  $S(\Omega)$ . Следовательно,

$$f(\gamma; \psi) = \frac{\sin \psi}{2\pi} \quad (3)$$

а вероятность попадания случайной точки с координатами  $(\gamma, \psi)$  в область  $A_i$  ( $-\pi \leq \gamma \leq \pi; \psi_1 \leq \psi \leq \psi_2$ ) будет равна

$$P(A_i) = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{\psi_1}^{\psi_2} \frac{\sin \psi}{2\pi} d\gamma d\psi = \cos \psi_1 - \cos \psi_2 \quad (4)$$

Вероятности

$$P[(A)_1], P[(A)_2], \dots, P[(A)_i], P[(A)_{n+1}]$$

задают распределение точек на элементах алгебры  $\mathcal{A}$ . Назовем это распределение «сферическим». Уравнение (4) представляет собой математическую модель плотности точек на диаграмме трещиноватости для массива с хаотической трещиноватостью без искажающего влияния 2-го фактора.

Перейдем к построению математической модели плотности точек для случая искажающего влияния 2-го фактора. Достаточно очевидно, и при большом количестве трещин в единице объема скального массива (или очень значительном удлинении ствола скважины) справедливо следующее выражение:

$$n^* = n \cos \psi \quad (5)$$

где  $\psi$  – угол между плоскостями трещин и оси сква-

жины, а  $\cos \psi$  – не отрицательная функция, определенная в интервале  $(0; \pi/2)$ ,  $n^*$  – количество трещин одинаковой ориентировки, подсеченное скважиной,  $n$  – максимально возможное количество трещин одинаковой ориентировки, подсеченное скважиной.

Для достаточно большой выборки объемом  $N$  случайных точек равномерно распределенных на интервалах  $A_1, A_2, \dots, A_{n+1}$  в соответствии со «сферическим» распределением, согласно предельной теореме Бернулли, попавшее на элементарную площадку  $dS$  полусферы количество точек  $\Delta N_i$  будет связано с плотностью распределения  $f(\gamma; \psi)$  следующим соотношением

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\Delta N_i}{N} = f(\gamma; \psi) d\gamma d\psi \quad (6)$$

где

$$N = \sum_{i=1}^n \Delta N_i$$

Используя выражение (5), определим количество точек  $\Delta N_i^*$  попавших на элементарную площадку  $dS$  с учетом влияния второго фактора

$$\Delta N_i^* = \Delta N_i \cos \psi \quad (7)$$

$$N^* = \sum_{i=1}^n \Delta N_i^*$$

Пусть  $N^*$  – сумма точек по всем элементарным площадкам поверхности полусферы, тогда

$$\lim_{N^* \rightarrow \infty} \frac{\Delta N_i^*}{N^*} = f^*(\gamma; \psi) d\gamma d\psi \quad (8)$$

где  $f^*(\gamma; \psi)$  – плотность распределения, обусловленного влиянием 2-го фактора.

Решая систему уравнений,

$$\begin{cases} \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\Delta N_i}{\sum_{i=1}^n \Delta N_i} = f(\gamma; \psi) d\gamma d\psi, \\ \lim_{N^* \rightarrow \infty} \frac{\Delta N_i^*}{\sum_{i=1}^n \Delta N_i^*} = f^*(\gamma; \psi) d\gamma d\psi. \end{cases}$$

находим уравнение, позволяющее выразить  $f^*(\gamma; \psi)$  через  $f(\gamma; \psi)$ :

$$f^*(\gamma; \psi) = f(\gamma; \psi) \cos \psi k^* \quad (9)$$

где

$$k^* = \lim_{\substack{N \rightarrow \infty \\ N^* \rightarrow \infty}} \frac{N}{N^*}$$

Используя уравнение (9), можно охарактеризовать распределение плотности точек, обусловленное влиянием 2-го фактора.

Запишем выражение функции  $f^*(\gamma; \psi)$  через элемент вероятности:

$$f^*(\gamma; \psi) d\gamma d\psi = k^* \cos \psi \frac{\sin \psi}{2\pi} d\gamma d\psi = k^* \frac{\sin 2\psi}{4\pi} d\gamma d\psi \quad (10)$$

Решая интеграл вероятности достоверного события,

$$\int_{-\pi}^{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} k^* \frac{\sin 2\psi}{4\pi} d\gamma d\psi = 1.$$

находим значение коэффициента  $k^* = 2$ , следовательно,

$$f^*(\gamma; \psi) d\gamma d\psi = \frac{k^* \sin 2\psi}{4\pi} d\gamma d\psi = \frac{2 \sin 2\psi}{4\pi} d\gamma d\psi = \frac{\sin 2\psi}{2\pi} d\gamma d\psi. \quad (11)$$

На рисунке 1б показано, что графиком функции  $f^*(\gamma; \psi)$  является поверхность двух соприкасающихся в точке О сфер, вписанных в сферу радиуса R с центром в той же точке, поэтому описываемое ею распределение плотности точек можно назвать мож-

но назвать «гантелевидным».

Вероятность попадания случайной точки с координатами  $(\gamma, \psi)$  измеримого пространства  $\{\Omega; \mathcal{A}\}$  в область  $A_i$  будет равна интегралу:

$$P^*(A_i) = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{\psi_1}^{\psi_2} \frac{\sin 2\psi}{2\pi} d\gamma d\psi = \frac{1}{2} (\cos 2\psi_2 - \cos 2\psi_1) \quad (12)$$

С помощью этого уравнения можно описать «гантелевидное» распределение плотности точек на элементах алгебры  $\mathcal{A}$ .

Устранение искажающего влияния второго фактора на структуру плотности точек диаграммы может быть достигнуто путем введения поправочного коэффициента равного отношению производных функций

«сферического» и «гантелевидного» распределений (справедливость этого утверждения следует из соотношения длин отрезков, образованных пересечением касательных к поверхностям  $f(\gamma; \psi)$  и  $f^*(\gamma; \psi)$  в точках M и M\* с осями координат X', Z' на рисунках 1а и 1б.

$$K = \frac{(-\cos \psi)'}{(-\frac{1}{2} \cos 2\psi)'} = \frac{-(-\sin \psi)}{[-(-\sin 2\psi)] \square} = \frac{\sin \psi}{2 \sin \psi \cos \psi} = \frac{1}{2 \cos \psi}. \quad (13)$$

В геометрическом смысле введение поправочного коэффициента (13) означает искривление гантелевидной поверхности до сферической.

Введение этой поправки приводит к изменению объема выборки замеров ориентировки трещин, так как каждый отдельный замер приобретает «вес» равный величине поправки, следовательно, объем выборки будет равен не сумме замеров, а сумме поправок. Необходимость определения объема выборки возникает в случаях, когда требуется построить сводную диаграмму трещиноватости по нескольким скважинам. В этой ситуации сводная диаграмма будет представлять собой средневзвешенную диаграмму, а вес диаграммы построенной по одной скважине будет равен нормированному объему выборки.

Предложенное аналитическое решение для учета влияния ориентировки ствола скважины на структуру плотности точек (для случая хаотической ориентировки трещин) позволяет решить две задачи. Во-первых, обеспечивает большую достоверность структуры плотности точек диаграммы, во-вторых, позволяет получить более достоверную (более качественную) оценку «плотности» изучения пространства трещиноватого массива горных пород (сумма поправок).

В принципе хаотическую ориентировку трещин можно рассматривать как частный случай упорядоченной трещиноватости такой, что в массиве имеется одна система трещин с равномерной плотностью точек на диаграмме трещиноватости и областью изменения азимутов падения  $\pi \geq \gamma \geq -\pi$  и углов падения

$\pi/2 \geq \psi \geq 0$ .

Тогда для решения вышеуказанных задач уравнение (13) можно представить в следующем виде

$$K = 1 / k^* \cos \psi. \quad (14)$$

Постоянный коэффициент  $k^*$  при упорядоченной трещиноватости превращается в переменную величину, зависящую от величины угла  $\psi$ .

Под упорядоченной (в той или иной степени) ориентировкой трещин будем подразумевать ориентировку, которой соответствует такая структура плотности точек диаграммы, что количество пиков (систем трещин) стремится к минимуму, а высота пиков и их компактность – к максимуму. По мере увеличения упорядоченности ориентировки трещин измеримое пространство  $\{\Omega, \mathcal{A}\}$  сжимается.

Величину  $k^*$  в условиях упорядоченной ориентировки трещин можно определить, решая интеграл вероятности достоверного события при условии влияния 2-го фактора, и задавая в каждом конкретном случае множество  $\{\Omega, \mathcal{A}, P\}$ .

Последовательное увеличение упорядоченности ориентировки такой системы трещин путем уменьшения диапазона изменения углов падения до  $(\psi_1, \psi_2)$  приводит к изменению  $k^*$  в соответствии с уравнением

$$k^* = 4 (\cos \psi_1 - \cos \psi_2) / (\cos 2\psi_1 - \cos 2\psi_2). \quad (15)$$

Сжатие вероятностного пространства  $\{\Omega, \mathcal{A}, P\}$  от экватора к полюсу путем изменения  $\psi_2$  от  $\pi/2$  до 0 ( $\psi_1 = 0$ ) приводит к изменению  $k^*$  от 2 до 1. При этом, значение коэффициента K стремится к единице (рис. 2). При

этом, уравнение (14) превращается в уравнение (5).

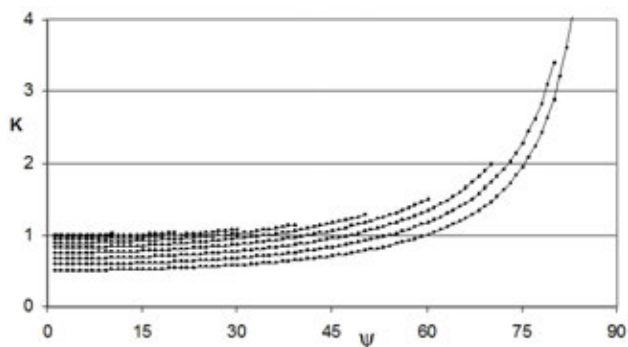


Рис. 2. Изменение графика функции  $K = 1/k \cdot \cos \psi$  по мере сжатия пространства  $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$  к полюсу ( $\psi = 0^\circ$ ).

Все графики на рисунке 2 пересекают линию  $K = 1$ , следовательно, при любой степени сжатия пространство диаграммы делится на две части, в одной из которых поправочный коэффициент  $K \leq 1$ , в другой  $K > 1$ . Предельное значение  $k^* = 1$  соответствует сжатию пространства  $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$  в точку и перерождению стохастического процесса заполнения точками (случайными замерами ориентировки трещин) поля диаграммы трещиноватости в детерминистический.

При сжатии пространства  $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$  в обратном направлении (от полюса к экватору) величина  $k^*$  неограниченно возрастает от 2 на полюсе до  $\infty$  на экваторе. При этом значение коэффициента  $K$  возрастает более резко по мере увеличения степени сжатия пространства (рис. 3).

В этом случае все графики также пересекают линию  $K = 1$ . Предельное сжатие пространства  $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$  в линию экватора ( $\psi = 90^\circ$ ) приводит к неопределенности, так как на линии экватора нарушается взаимно-однозначное соответствие между поверхностями  $f(\gamma; \psi)$  и  $f^*(\gamma; \psi)$ .

Изменение графика функции  $K = 1/k \cdot \cos \psi$  по мере сжатия пространства  $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$  от экватора и от полюса к  $\psi = 45^\circ$  показано на рисунке 4.

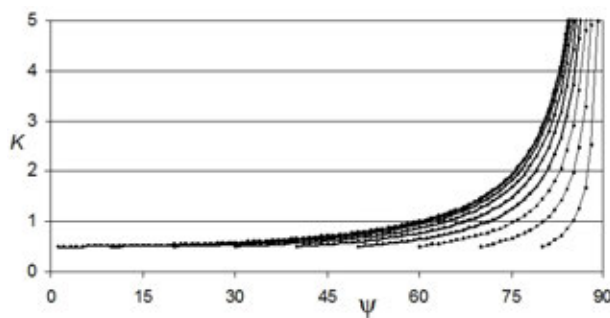


Рис. 3. Изменение графика функции  $K = 1/k \cdot \cos \psi$  по мере сжатия пространства  $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$  к экватору ( $\psi = 90^\circ$ ).

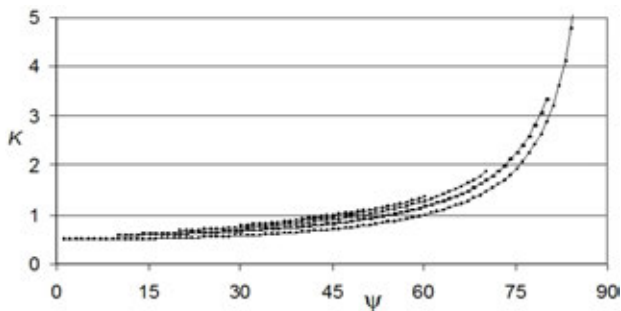


Рис. 4. Изменение графика функции  $K = 1/k \cdot \cos \psi$  по мере сжатия пространства  $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$  от экватора и от полюса к  $\psi = 45^\circ$ .

Как показывают графики на рисунке 4, по мере сжатия пространства  $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$   $K \rightarrow 1$ .

Таким образом, увеличение упорядоченности ориентировки трещин приводит к сжатию вероятностного пространства  $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbb{P})$ , и, в зависимости от способа сжатия (к полюсу, к экватору, к произвольному  $\psi$ ), величина поправки  $K$  варьирует в широком диапазоне значений и стремится к 1 по мере увеличения степени сжатия. Сжатие вероятностного пространства в точку или шаровой слой нулевой ширины соответствует предельной упорядоченности ориентировки трещин, при которой поправка  $K = 1$ .

Величину поправки, устраняющей влияние 2-го фактора, можно представить в более общем виде:

$$K = \frac{f'(\gamma; \psi)}{(f(\gamma; \psi) \cos \psi k^*)'[\square]} = \frac{1}{k^*} \frac{f'(\gamma; \psi)}{(f'(\gamma; \psi) \cos \psi)[-f(\gamma; \psi) \sin \psi]} \quad (16)$$

В случаях упорядоченной ориентировки трещин, когда функция плотности распределения для одной системы трещин с углами падения принадлежащими области  $(\psi_1, \psi_2)$  существенно отклоняется от равномерного распределения, необходимо искать решение уравнения (16).

Более сложные ситуации, когда упорядоченность ориентировки трещин выражается в наличии двух и более систем трещин, значительном отличии характера распределения величины  $\psi$  от равномерного распределения, являются предметом дальнейших исследований.

Выполненный анализ позволяет сделать следующие

выводы.

1. Без искажающего влияния каких-либо факторов при хаотической ориентировке трещин функция плотности распределения точек на круговой диаграмме трещиноватости представляет собой поверхность сферы единичного радиуса. Искажающее влияние ориентировки скважины, ось которой совпадает с вертикальной осью декартовой системы координат, выражается в искривлении функции плотности распределения – сферической поверхности до гантелевидной поверхности, представляющей собой поверхность двух сфер, соприкасающихся в точке начала координат и вписанных в сферу единичного радиуса. Устра-



нение искажающего влияния ориентировки скважины на функцию плотности распределения равнозначно обратному действию – искривлению гантелевидной поверхности до сферической.

2. Для упрощенной модели упорядоченной трещиноватости выполнено исследование изменения поправочного коэффициента равного отношению производных функций «сферического» и «гантелевидного» распределений и позволяющего искривить гантелевидную поверхность до сферической. При сжатии вероятностного пространства от экватора к полюсу, от полюса к экватору и от полюса и экватора к полярному расстоянию  $45^\circ$  выявлено, что способ сжатия пространства весьма существенно влияет на величину коэффициента.

3. В случае высоко упорядоченной ориентировки трещин, когда азимут падения и угол падения трещин каждой системы незначительно отличается от среднего их значений, при построении диаграмм для трещин, образующих с осью скважин острый угол не менее  $30^\circ$ , следует вводить поправку в соответствии с уравнением (5).

4. В случаях, когда состояние упорядоченности ориентировки трещин может быть определено как

промежуточное между хаотическим и высоко упорядоченным, для трещин, образующих с осью скважин острый угол не менее  $30^\circ$ , следует вводить поправку, полученную в результате решения уравнения (16).

5. В случаях, когда состояние упорядоченности ориентировки трещин существенно отличается от хаотического, для трещин, образующих с осью скважин острый угол менее  $30^\circ$ , введение поправки не целесообразно, поскольку весьма незначительные ошибки при измерении ориентировки трещины могут привести к ошибкам при определении поправочного коэффициента, достигающим огромных значений. Таким образом, изучение ориентировки трещин, образующих с осью скважин острый угол менее  $30^\circ$ , с помощью оптического сканирования стенок скважин не целесообразно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Копытин, А.С. Математические методы учета факторов, влияющих на характер круговых диаграмм трещиноватости / А.С. Копытин // Сб. науч. тр. Гидропроект. – М., 1988. – Вып.128. – С. 66–79.
2. Боровков, А.А. Теория вероятностей / А.А. Боровков // М.: Наука, 1976. – С.27–30.
3. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1964. – 267 с.

ОАО «Институт Гидропроект», Москва

Копытин А.С., канд.г.-м.н., главный специалист.

Кузьмин В.С., заведующий группой, аспирант экологического факультета Российского университета дружбы народов.

ФБГОУ ВПО «Воронежский государственный университет»

Бударина В.А., канд.юр.н., доцент

E-mail: budarinav@yandex.ru

Тел.: 8 (4732) 208 - 289

JSC "Institute Hydroproject", Moscow

Kopytin A.S., candidate of geological – mineralogical sciences, chief specialist.

Kuzmin V.S., group head, Graduate student of Ecological Faculty, People ' Friendship University of Russian

Voronezh State University

Budarina V.A., candidate of legal Sciences, associate Professor

E-mail: budarinav@yandex.ru

Tel.: 8 (4732) 208 - 289