

Редькин Г.М., д-р техн. наук, проф.,

Коновалов А.В., аспирант, м.н.с.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЙ ЭКСТРЕМУМОВ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРЕЩИНОВАТОСТИ

alexander.v.konovalev@yandex.ru

В статье приводится метод для определения направлений экстремумов (минимумов и максимумов) интенсивности трещиноватости – метод секторов направлений единичного круга. Для определения экстремумов строится диаграмма интенсивности трещиноватости по направлениям, которая разделяется на сектора направлениями систем трещин. Установлено, что минимумы интенсивности находятся на границах секторов, а максимумы – внутри секторов в направлениях сумм векторов, описывающих системы трещин. Приводится пример определения экстремумов на данных Лебединского месторождения.

Ключевые слова: анизотропия, трещиноватость, интенсивность трещиноватости, экстремумы, минимум, максимум.

Геометрическим аспектом трещины является плоскость разрыва сплошности горных пород [1]. Трещиноватостью называют совокупность всех трещин, развитых в массиве горных пород. Трещины, имеющие параллельную или близкую ориентировку, объединяют в системы трещин, которые характеризуются интенсивностью трещиноватости — средним количеством трещин на погонный метр (либо на единицу длины) разреза в любом направлении. Интенсивность трещиноватости зависит от направления и поэтому является анизотропной величиной.

Пусть в массиве горных пород развито n систем трещин, в каждой из которых сделано по N_i ($i=1,2,\dots,n$) замеров. Под точкой замера будем понимать некоторый объём в массиве горных пород, достаточно большой для возможности определения угла падения, азимута простирания и частоты системы трещин и достаточно малый

по сравнению с оцениваемым массивом горных пород.

Под плоскостью системы трещин будем понимать плоскость, ориентировка которой в пространстве определяется средним положением плоскостей, составляющих систему [2]. В частности, интенсивность трещиноватости в направлении, перпендикулярном плоскости системы трещин, называют частотой трещин системы. Математическим эквивалентом системы трещин служит вектор системы трещин [2], перпендикулярный плоскости системы, и модуль которого равен частоте трещин системы.

Ориентировка в пространстве плоскости системы однозначно определяется элементами её залегания: азимутом линии простирания (A) и углом линии падения (δ), которые изменяются в промежутках $0 \leq A \leq 2\pi$, $0 \leq \delta \leq \pi/2$.

Можно показать [2], что вектор $\vec{\omega}(i=1,2,\dots,n)$ i -ой системы трещин определяется выражением

$$\vec{\omega}_i = \frac{[\omega]_i}{N_i} \cdot \vec{n}_i = \frac{[\omega]_i}{N_i} \cdot \frac{([a]_i [b]_i [c]_i)}{\sqrt{[a]_i^2 + [b]_i^2 + [c]_i^2}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

в котором использовано введённое в теорию погрешностей обозначение Гаусса:

$$[\omega]_i = \sum_{j=1}^{N_i} \omega_i^{(j)}, [a]_i = -\sum_{j=1}^{N_i} \sin A_i^{(j)} \sin \delta_i^{(j)},$$

$$[b]_i = \sum_{j=1}^{N_i} \cos A_i^{(j)} \sin \delta_i^{(j)}, [c]_i = \sum_{j=1}^{N_i} \cos \delta_i^{(j)}; \quad (2)$$

где $A_i^{(j)}$, $\delta_i^{(j)}$, $\omega_i^{(j)}$ – j -ый замер соответственно азимута простирания, угла падения и частоты i -ой системы трещин; N_i – число замеров в i -ой системе трещин.

Заметим, что в формуле (1) отношение $\frac{[\omega]_i}{N_i}$ определяет среднюю частоту i -ой системы

трещин, а $\vec{n}_i = \frac{([a]_i [b]_i [c]_i)}{\sqrt{[a]_i^2 + [b]_i^2 + [c]_i^2}}$ – единичный $|\vec{n}_i| = 1$ нормальный вектор плоскости i -ой системы.

При открытом способе разработки месторождения обрабатывают горизонтальными слоями, поэтому сеть буровзрывных скважин ориентируют в плане, в выбранной на месторождении системе координат Оху. В этом

случае рациональные параметры сети буровзрывных скважин будут зависеть от анизотропии трещиноватости

дзинтегрируемого массива горных пород, индуцированной проекциями векторов систем трещин (1) на плоскость Оху

$$\vec{\omega}_i^* = \text{Пр}_{Oxy} \vec{\omega}_i = \frac{[\omega]_i}{N_i} \cdot \frac{([a]_i; [b]_i; [c]_i)}{\sqrt{[a]_i^2 + [b]_i^2 + [c]_i^2}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Направление в декартовой системе координат Оху выражается единичным

вектором направляющих косинусов

$$\vec{e}(\alpha) = (\cos(\alpha); \cos(\pi/2 - \alpha)) = (\cos(\alpha); \sin(\alpha)) \quad (4)$$

который однозначно определяется углом $\alpha = (\vec{e}, \vec{\partial}x)$ между ним и осью Ох.

Оху, обусловленная n системами трещин, представляет собой сумму модулей проекций векторов $\vec{\omega}_i^*$ (3) на направление $\vec{e}(\alpha)$ (4)

На основе исследований [2] устанавливаем, что интенсивность трещиноватости в плоскости

$$L(\alpha) = \sum_{i=1}^n |\text{Пр}_{\vec{e}} \vec{\omega}_i^*| = \sum_{i=1}^n |\vec{\omega}_i^* \cdot \vec{e}(\alpha)| = \sum_{i=1}^n \frac{[\omega]_i \cdot |[a]_i \cos \alpha + [b]_i \sin \alpha|}{N_i \cdot \sqrt{[a]_i^2 + [b]_i^2 + [c]_i^2}} \quad (5)$$

Найдём экстремумы интенсивности трещиноватости (5), которые необходимы для определения рациональных параметров геометрии сети буровзрывных скважин.

секторов направлений единичного круга, который заключается в следующем (см. рис. 1).

Обозначим через

$$a_i = \frac{[\omega]_i \cdot [a]_i}{N_i \cdot \sqrt{[a]_i^2 + [b]_i^2 + [c]_i^2}}, b_i = \frac{[\omega]_i \cdot [b]_i}{N_i \cdot \sqrt{[a]_i^2 + [b]_i^2 + [c]_i^2}}, \quad (6)$$

$$x = \cos \alpha, y = \sin \alpha \quad i=1, 2, \dots, n.$$

Для снятия модулей в функции (8) приравняем к нулю выражения, стоящие под знаками этих модулей и, с учётом ограничения (9), получим n систем уравнений

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = 1 \\ a_i x + b_i y = 0 \end{cases}, i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

Тогда из равенств (3) и (5) соответственно получим выражения проекций векторов систем трещин на плоскость Оху

Вторые уравнения представляют собой общие уравнения прямых в плоскости Оху, проходящих через начало координат т. О и пересекающих единичную окружность (9) в двух диаметрально противоположных точках, симметричных относительно начала координат. Эти точки разбивают окружность на две полуокружности. В точках одной $a_i x + b_i y > 0$, а в точках другой $a_i x + b_i y < 0$. Знак определяется вектором-градиентом $\text{grad}(a_i x + b_i y) = (a_i; b_i)$, который указывает направление роста линейной функции $a_i x + b_i y$.

$$\vec{\omega}_i^* = (a_i; b_i), i = 1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

и интенсивности трещиноватости в плоскости Оху

$$L(\alpha) = L(x, y) = \sum_{i=1}^n |a_i x + b_i y| \quad (8)$$

Причём из обозначения (6) и равенства (4) следует, что переменные величины x и y удовлетворяют уравнению единичной окружности в начале координат

$$x^2 + y^2 = 1 \quad (9)$$

и определяют направление в плоскости Оху

$$\vec{e}(\alpha) = (x; y). \quad (10)$$

Таким образом, задача свелась к нахождению экстремумов определённой на единичной окружности (9) неотрицательной функции $L(x, y) \geq 0$ (8), представляющей собой сумму модулей от линейных функций.

Найдём решения системы (11), представляющие собой координаты точек пересечения прямых с единичной окружностью (11). Выразим общие уравнения прямых в системе (11) в параметрической форме

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = 1 \\ x = -b_i t \\ y = a_i t \end{cases}, i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

Назовём решение данной задачи методом

и получим решения эквивалентных систем (11), (12)

$$(x_{i1}; y_{i1}) = (b_i; -a_i) / \sqrt{a_i^2 + b_i^2}, \quad (13)$$

$$(x_{i2}; y_{i2}) = (-b_i; a_i) / \sqrt{a_i^2 + b_i^2}, i = 1, 2, \dots, n$$

Решения системы (13) определяют 2n попарно симметричных относительно начала

координат т. О дуг единичной окружности, в точках каждой из которых выражения под

знаками модулей функции интенсивности трещиноватости $L(x,y)$ (8) сохраняют свои знаки. Опирающиеся на эти дуги попарно симметричные i -ый и $n+i$ -ый секторы единичного круга $x^2 + y^2 = 1$ задают направления $\vec{e}(\alpha) = (x; y)$ знакопостоянства линейных функций $a_i x + b_i y$.

Заметим, что интенсивности трещиноватости $L(x,y)$ (8) одинаковы по симметрично-противоположным направлениям i -ых и $n+i$ -ых секторов, $i=1,2,\dots,n$. Поэтому достаточно исследовать i -ые секторы направлений.

Введём в i -ом секторе направлений функцию

$$[\beta]_i = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \text{sign}(a_i x + b_i y), [\gamma]_i = \sum_{i=1}^n b_i \cdot \text{sign}(a_i x + b_i y). \quad (16)$$

Геометрически (см. рис. 1), согласно методу горизонтальных сечений, интенсивность трещиноватости $L(x,y)$ (15) для рассмотренного i -го сектора можно изобразить в виде системы

$$\begin{cases} L_i(x,y) = [\beta]_i x + [\gamma]_i y \\ L_i(x,y) = C \end{cases} \Rightarrow [\beta]_i x + [\gamma]_i y = C \quad (17)$$

При $C=0$ получаем общее уравнение прямой и нормали \vec{N} к ней

$$[\beta]_i x + [\gamma]_i y = 0, \vec{N}_i = ([\beta]_i; [\gamma]_i), \quad (18)$$

которая проходит через начало координат т. О. С ростом C прямая уровня (17) перемещается в направлении максимального роста интенсивности трещиноватости $L(x,y)$ (15), то есть в направлении её градиента

$$\text{grad}L(x,y) = \left(\frac{\partial L_i}{\partial x}; \frac{\partial L_i}{\partial y} \right) = ([\beta]_i; [\gamma]_i). \quad (19)$$

Сравнивая выражения (18) и (19), устанавливаем совпадение градиента интенсивности трещиноватости (19) с нормалью прямой (18)

$$\vec{N}_i = \text{grad}L_i(x,y). \quad (20)$$

В соответствии с теорией математического программирования [3], точка отрыва прямой уровня (17) от дуги i -го сектора будет точкой максимума, которая является точкой пересечения прямой, проходящей через начало координат в направлении градиента интенсивности трещиноватости (19), (20), с

$$\max L_i(x_{i1}^*; y_{i1}^*) = \sqrt{[\beta]_i^2 + [\gamma]_i^2} = |\text{grad}L_i(x_{i1}^*; y_{i1}^*)| \quad (25)$$

Сопоставляя формулы (19) и (23), убеждаемся в том, что направления вектора $(x_{i1}^*; y_{i1}^*)$ и вектор-градиент $\text{grad}L_i(x; y)$ совпадают. Следовательно, максимум функции $L(\alpha) = L(x; y)$ (5), (8) в i -ом

$$\text{sign}_i(a_i x + b_i y) = \begin{cases} 1, & \text{если } a_i x + b_i y > 0 \\ -1, & \text{если } a_i x + b_i y < 0, \\ 0, & \text{если } a_i x + b_i y = 0 \end{cases}$$

которая определяет знак выражения $a_i x + b_i y$.

Тогда в данном i -ом секторе направлений функцию интенсивности трещиноватости $L(x,y)$ (8) можно, опустив знаки модулей

$$L_i(x,y) = \sum_{i=1}^n (a_i x + b_i y) \text{sign}_i(a_i x + b_i y), \quad (14)$$

представить в виде линейной функции

$$L_i(x,y) = [\beta]_i x + [\gamma]_i y, \quad (15)$$

где $[\beta]_i$ и $[\gamma]_i$ выражаются как

параллельных прямых в плоскости Оху, на каждой из которых функция принимает постоянное значение C

единичной окружностью (9)

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = 1 \\ \frac{x}{[\beta]_i} = \frac{y}{[\gamma]_i} \end{cases}. \quad (21)$$

Перейдём от канонического уравнения прямой в системе (21) к параметрическим уравнениям

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = 1 \\ x = [\beta]_i t \\ y = [\gamma]_i t \end{cases} \quad (22)$$

и получим два решения системы (22)

$$(x_{i1}^*; y_{i1}^*) = ([\beta]_i; [\gamma]_i) / \sqrt{[\beta]_i^2 + [\gamma]_i^2} \quad (23)$$

$$(x_{i2}^*; y_{i2}^*) = (-[\beta]_i; -[\gamma]_i) / \sqrt{[\beta]_i^2 + [\gamma]_i^2}, \quad (24)$$

первое (23) из которых может принадлежать рассматриваемому i -му сектору, а второе (24) ему противоположному $n+i$ -му сектору. В этом случае, подставляя первое решение $(x_{i1}^*; y_{i1}^*)$ в функцию (15), получим максимальное значение интенсивности трещиноватости (15), (8) в i -ом секторе направлений

секторе достигается в направлении $\text{grad}L_i(x; y)$ (19), (23) и равен модулю этого градиента (25) при условии, что вектор-градиент принадлежит данному сектору.

Если направление (19), (23) не принадлежит

i -му сектору направлений, то в рассматриваемом секторе интенсивность трещиноватости не принимает своего максимального значения.

Минимальные значения интенсивность трещиноватости (5), (8) принимает на границах секторов

$$\min L_i(x_{i1}; y_{i1}), \min L_i(x_{i1}; y_{i1}) \quad (26)$$

соответственно в направлениях

$$\vec{e}(x_{i1}; y_{i1}), \vec{e}(x_{i1}; y_{i1}), \quad (27)$$

где $(x_{i1}; y_{i1}), (x_{i1}; y_{i1})$ определены равенствами (13).

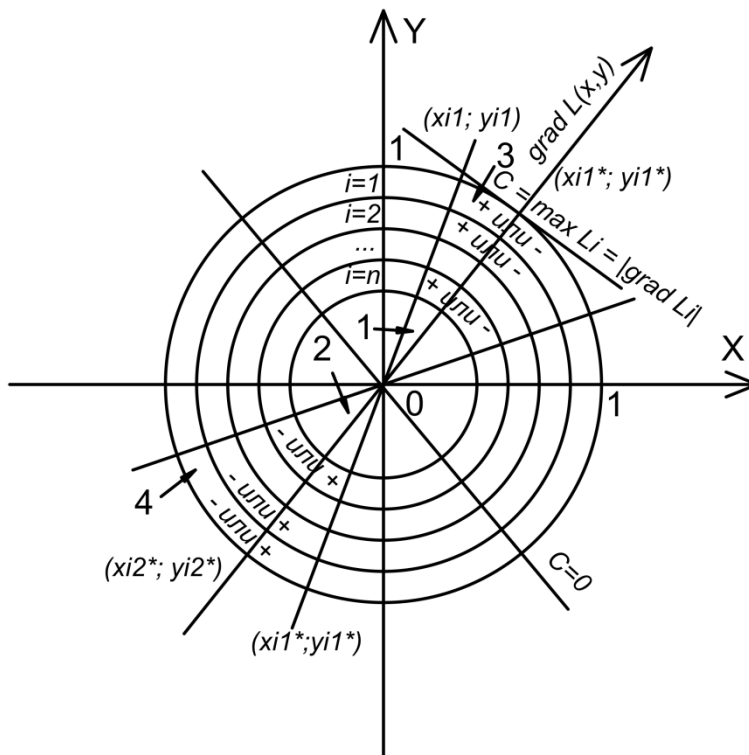


Рис. 1. Геометрия метода секторов направлений единичного круга:

- 1) i -ый сектор направлений; 2) $n+i$ -ый сектор направлений;
- 3) знак выражения $a_1x + b_1y$ в i -ом секторе направлений; 4) противоположный знак выражения $a_1x + b_1y$ в $n+i$ -ом секторе направлений

Таким образом, определяя направления (13), (19), (23) и максимальные и минимальные значения (25), (26) интенсивности трещиноватости (8), (15) по всем секторам направлений, выделим из них наибольшее $L_{нб}$ и наименьшее $L_{нм}$ значения интенсивности трещиноватости $L(x,y)$ (8) и направления $\vec{e}_{нб}, \vec{e}_{нм}$, по которым достигаются эти значения.

В качестве примера определим интенсивность трещиноватости Лебединского месторождения в плане в принятой на месторождении системы координат Oxy и найдём экстремумы её анизотропии.

В пределах Лебединского месторождения наибольшее распространение имеют три основные системы трещин, которые обуславливают форму, ориентировку в пространстве, размеры средней естественной отдельности, блочность в массиве горных пород [4]. Трещины первой системы параллельны напластованию сланцев, продольные

относительно осей складок и характеризуются средними значениями азимута простирания SZ 312° , угла падения 70° и расстояния между трещинами $0,18$ м. Трещины второй системы представляют нормально секущую слоистость и имеют средние значения азимута простирания $СВ$ 70° , угла падения 75° и расстояния между трещинами $0,32$ м. Трещины третьей системы перпендикулярны к складчатости и слоистости, их элементы залегания характеризуются средними значениями азимута простирания $СВ$ 40° , угла падения 48° и расстояния между трещинами $0,4$ м.

Согласно формулам (6), (7) и на основе представленных элементов залегания систем трещин приведём ниже в таблице 1 координаты векторов $\vec{\omega}_i^*, i = 1,2,3$ (7) в плоскости Oxy , которые являются проекциями векторов систем трещин на плоскость Oxy .

Таблица 1

Координаты векторов-проекции векторов систем трещин на плоскость Oxy

| Системы трещин, № и символ | Частота трещин ω_i | Азимут A, \circ | Угол падения δ, \circ | Координаты вектора $\vec{\omega}_i = (a_i, b_i), i = 1,2,3$ | |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|------------------------------|---|-------|
| | | | | a_i | b_i |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| $i=1$; СЗ | 5,56 | 312 | 70 | 3,98 | 3,50 |
| $i=2$; СВ | 3,12 | 70 | 75 | -2,83 | 1,03 |
| $i=3$; СВ | 2,50 | 40 | 48 | -1,19 | 1,42 |

По данным таблицы и выражения (8) получим в системе координат Oxy функцию

$$L(\alpha) = L(x, y) = |3,88x + 3,50y| + |-2,83x + 1,03y| + |-1,19x + 1,42y|, \quad (28)$$

определённую в точках единичной окружности (9).

Для снятия модулей в функции (28) приравняем к нулю выражения под знаками

$$i = 1, \begin{cases} x^2 + y^2 = 1 \\ x = -3,50t \\ y = 3,88t \end{cases}; i = 2, \begin{cases} x^2 + y^2 = 1 \\ x = 1,03t \\ y = 2,83t \end{cases}; i = 3, \begin{cases} x^2 + y^2 = 1 \\ x = 1,42t \\ y = 1,19t \end{cases} \quad (29)$$

где i – номер системы трещин.

По формуле (13) находим решения этих

$$\begin{aligned} i = 1, (x_{11}; y_{11}) &= (0,67; -0,74), (x_{12}; y_{12}) = (-0,67; 0,74) \\ i = 2, (x_{21}; y_{21}) &= (0,43; 0,94), (x_{22}; y_{22}) = (-0,34; -0,94) \\ i = 3, (x_{31}; y_{31}) &= (0,77; 0,64), (x_{32}; y_{32}) = (-0,77; -0,64) \end{aligned} \quad (30)$$

Решения (30) разбивают единичную окружность (см. рис.2) на 3 пары симметричных дуг, на которые опираются секторы единичного круга, задающие направления в плоскости. Так как интенсивности трещиноватости по взаимно противоположным направлениям совпадают, то достаточно исследовать направления трёх смежных несимметричных секторов, характеризующихся граничными единичными векторами:

- I сектор (0,67;-0,74) – (0,77;0,64);
- II сектор (0,77;0,64) – (0,34; 0,94);
- III сектор (0,34;0,94) – (-0,67;0,74).

В I секторе (см. рис. 2) выражение под знаком первого модуля функции (28) положительно, под знаком второго и третьего модуля выражения отрицательны. Поэтому согласно формулам (14)-(15) интенсивность трещиноватости $L(x,y)$ в направлении I-госектора примет вид

$$L_1(x, y) = 3,88x + 3,50y + 2,88x - 1,03y + 1,19x - 1,42y$$

или

$$L_1(x, y) = 7,9x + 1,05y.$$

Тогда по формуле (23) получаем единичный вектор направления максимального значения в I-ом секторе

$$\vec{e}_{max}^{(I)} = (0,99; 0,13), \quad (31)$$

а по формуле (25) максимальное значение по этому направлению

$$\max L_1(x_{11}^*; y_{11}^*) = 7.96 \quad (32)$$

Подобным образом в III-ем секторе по направлению

$$\vec{e}_{max}^{(III)} = (x_{31}^*; y_{31}^*) = (0; 1) \quad (33)$$

максимальное значение

$$\max L_3(x_{31}^*; y_{31}^*) = 5,95. \quad (34)$$

Во II-м секторе отсутствует максимальное значение.

Минимальные же значения определяем по формулам (26) на границах секторов

$$\begin{aligned} \min L(0,67; -0,74) &= 4,52 \\ \min L(0,77; 0,64) &= 6,76 \\ \min L(0,34; 0,94) &= 5,54 \end{aligned} \quad (35)$$

Из максимальных и минимальных выбираем наибольшее и наименьшее соответственно (см. рис. 2 и рис. 3).

$L_{НБ} = \text{наиб. } L(x_{11}^*; y_{11}^*) = 7,96$,
 $L_{НМ} = \text{наим. } L(0,67; -0,74) = 4,52$,
 которые достигаются соответственно по

направлениям $\vec{e}_{НБ} = (x_{11}^*; y_{11}^*) = (0,99; 0,13)$ и $\vec{e}_{НМ} = (0,67; -0,74)$ и соответственно им противоположным $\vec{e}_{НБ} = (-0,99; -0,13)$ и $\vec{e}_{НМ} = (-0,67; 0,74)$.

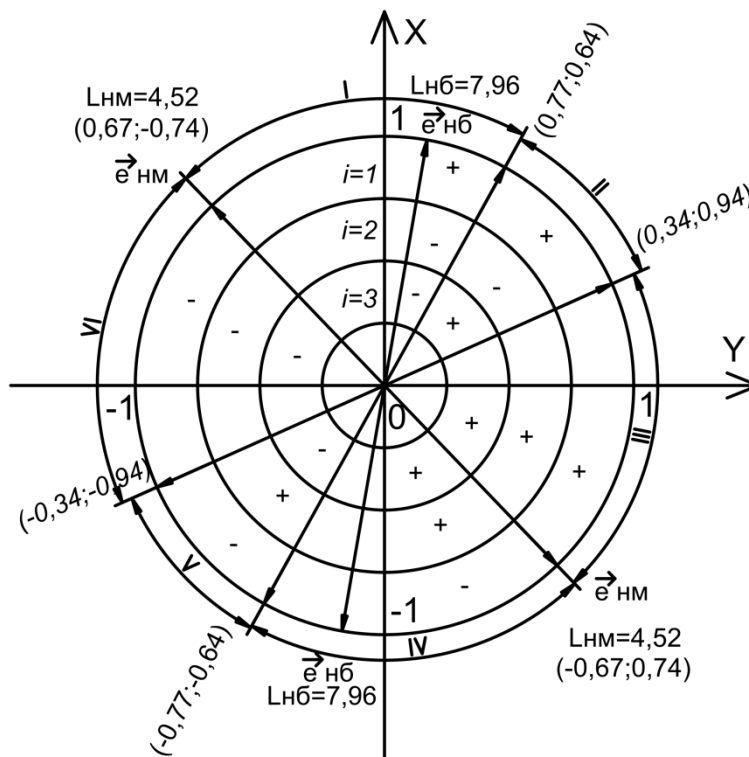


Рис. 2. Наибольшее и наименьшее значения интенсивности трещиноватости Лебединского месторождения: I, II, ..., VI – номера секторов направлений единичного круга; $L_{НБ}=7,96$ – наибольшее, $L_{НМ}=4,52$ – наименьшее значения интенсивности трещиноватости. $\vec{e}_{НБ}$, $\vec{e}_{НМ}$ – направления, по которым достигаются соответственно наибольшее и наименьшее значения

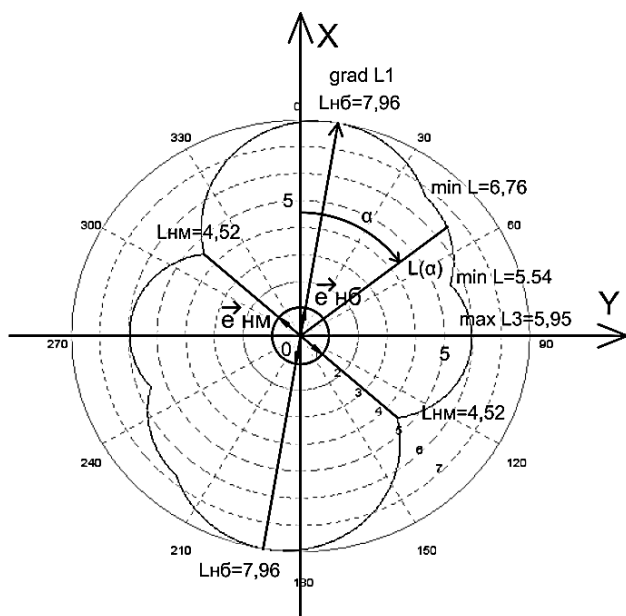


Рис. 3. График интенсивности трещиноватости $L(\alpha)$ (5),(8)

На рис. 3 приведён график интенсивности трещиноватости $L(\alpha)$ (5),(8), направления наибольшей $\vec{e}_{НБ}$ ($\text{grad } L_1$ и $\text{grad } L_4$) и

наименьшей $\vec{e}_{НМ}$ интенсивностей трещиноватости Лебединского месторождения в плане и соответственно наибольшее $L_{НБ}$ и наименьшее $L_{НМ}$ значения по этим направлениям, равные расстояниям от начала координат до графика $L(\alpha)$

Найденные приведенным методом направления экстремумов интенсивности трещиноватости и значения интенсивности в них могут быть положены в основу определения рациональных параметров геометрии сети буровзрывных скважин, так как дробимость пород существенно зависит от их трещиноватости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нейштадт Л.И., Пирогов И.А. Методы инженерно-геологического изучения трещиноватости горных пород. М.: Энергия, 1969. 248 с.
2. Редькин Г.М. Нестационарное анизотропное математическое моделирование неоднородностей систем минерального сырья. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. 500 с.

3. Брусенцев А.Г., Петрашев В.И., Рязанов Ю.Д. Исследование операций и теория игр: учебн. пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 258 с.

4. Геолого-технологическое картирование попутно добываемых пород Лебединского, Стойленского и Оленегорского месторождений

с целью использования их в промышленности строительных материалов: отчёт о НИР (заключит.): 86-Б-25 / Белгор. технол. инс-т строит. матер.; рук. Казикаев Д. М.; исполн. Кокунько В. К., Редькин Г. М. [и др.]. – Белгород, 1990. 163 с. № ГР 0186011432.

Redkin G.M., Konovalov A.V.

METHOD FOR FINDING THE DIRECTIONS OF FRACTURING INTENSITY EXTREMUMS

The article describes method for finding the directions of extremums (minimums and maximums) of fracturing intensity in rock, called «method of direction sectors in unit circle». For the extremums finding, the fracturing intensity diagram is plotted, and it is spliced in sectors by systems of fractures. It found that minimums of fracturing intensity are located on the sectors' boundaries, and maximums are located inside of sectors, in direction of sums of the vectors, that describe systems of fractures. An example of extremums' directions finding is given for the Lebedinskoye ore deposit.

Key words: anisotropy, fracturing, intensity of fracturing, extremums, minimum, maximum.

Редькин Геннадий Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Коновалов Александр Владимирович, младший научный сотрудник отдела геологии и геоинформатики. ОАО «ВИОГЕМ»
Адрес: Россия, 308007, Россия, г. Белгород, пр-т Богдана Хмельницкого, 86.
E-mail: alexander.v.konovalov@yandex.ru