

канд. геол. минер. наук. - Екатеринбург. - 1997. - 24 с.

6. Угольная база Урала. Состояние и перспективы развития./Кривихин С.В., Сухоруков А.М., Алексеев В.П. и др. //Известия вузов. Горный журнал. - 1993. - N5. - Специальный выпуск; Уральское горное обозрение. - 1993. - N1. - С.19-29.

УДК 550.837

С. С. Сысков

## АНИЗОТРОПИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТРЕЩИНОВАТОЙ ПОРОДЫ

На основании многолетних исследований кафедры прикладной геофизики по объемному изучению анизотропии электропроводности рудовмещающих пород, выполненных во многих рудных районах Урала, было доказано широкое распространение трехосных анизотропных сред [1,5,7], реальность которых ранее не признавалась [10]. Для оценки анизотропии пород использовались как специальные измерения, так и результаты метода заряда при заземлении в безрудные скважины. При таких исследованиях удается получить осредненную характеристику анизотропии электрических свойств для больших массивов породы объемом в десятки миллионов кубометров и более. По результатам этих измерений определялись ориентировка осей тензора удельного электрического сопротивления (УЭС) в пространстве и значения УЭС на этих осях, а затем вычислялись полный коэффициент анизотропии  $\lambda$  и т.н. коэффициент анизотропии в плоскости сланцеватости  $\lambda_c$ , характеризующий наличие в породе трехосной анизотропии, если  $\lambda > \lambda_c > 1$  [5].

Геологическая природа трехосной анизотропии пород связана, главным образом, с наличием в них разноориентированных систем заполненных водой трещин различной формы, зависящей от структурно-текстурных особенностей и метаморфических изменений. Для трещиноватых водонасыщенных малопористых пород с объемной пористостью менее 3-5% по теоретическим исследованиям и практическим измерениям на образцах и стенках горных выработок коэффициент анизотропии  $\lambda_c$  обычно не превышал 1,4 - 1,5.

Более высокие значения  $\lambda_c$  наблюдались только при наличии в горных породах неизометричных упорядоченно ориентированных электропроводных включений, например скоплений рудной вкрапленности. Поэтому аномально высокие значения  $\lambda_c$  предлагалось рассматривать как дополнительный критерий при оценке потенциальной рудоносности участка. Основанный на этом принципе метод поисков гидротермальных месторождений был признан изобретением СССР [1], и длительное время основной целью изучения объемной анизотропии пород являлось картирование участков рудовмещающих метасоматитов с повышенными, более 1,4 - 1,5, значениями коэффициента анизотропии  $\lambda_c$ .

Исследование объемной анизотропии в различных районах Среднего и Южного Урала показало, что более чем в 80 % случаев анизотропия пород объясняется их трещиноватостью. Поэтому имеет смысл использовать полученные характеристики анизотропии электропроводности для количественной оценки объемной трещинной пористости как для массива в целом, так и для главных направлений тензора электропроводности. Рассмотрим в этой связи наиболее часто

использующиеся интерпретационные модели (ИМ) трещиноватой породы и принципы их построения.

В качестве основных принципов построения ИМ трещиноватой породы примем следующие условия.

1. Объемная пористость водонасыщенной горной породы не должна превышать 3–5%, что характерно для абсолютного большинства изверженных и метаморфических пород, а также некоторых разновидностей гидрхимических осадков. При более высоких значениях пористости следует руководствоваться хорошо разработанными теорией и моделями коллекторов трещинного и порового типов [3].

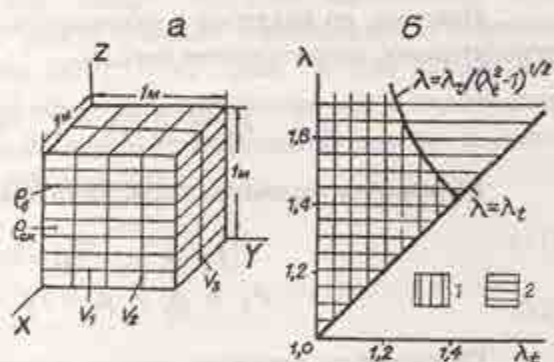
2. Удельное сопротивление скелета обезвоженной горной породы без рудных включений должно составлять не менее  $10^9$  Ом·м, что соответствует минимальному сопротивлению сухих породообразующих минералов (по многочисленным справочным данным), и на 7–8 порядков превышать сопротивление поровой воды. При этом условии электропроводность водонасыщенной породы обеспечивается исключительно за счет поровой влаги и не зависит от минерального состава скелета.

На соблюдении последнего условия особо настаивал А.Г.Тархов, отмечая в качестве основного вывода своей фундаментальной работы [9], что "...Собственная проводимость большинства горных пород в сухом состоянии ничтожно мала. Поэтому можно считать, что во всех случаях (за исключением руд) сопротивления определяются увлажненностью ... пород. Это положение, ставшее почти тривиальным, мы, тем не менее, считаем нужным подчеркнуть как довольно часто забываемое".

Именно такого рода "забывчивостью" можно объяснить появление даже в справочной литературе утверждений типа: "В водонасыщенных образцах интрузивных и эффузивных пород наблюдается увеличение удельного сопротивления от кислых разностей к основным и ультраосновным на 2-3 порядка. ...Сопоставление рисунков ... показывает, что изученные малопористые породы ( $n=0,7\div 5\%$ ) попадают в область совместного влияния на их удельное сопротивление минерального скелета породы и поровых вод" [4, стр. 187]. По той же причине нельзя признать корректными расчеты параметров анизотропной трещиноватой породы в работах [2,5], выполненные для соотношения УЭС скелета и поровой воды  $10^3$  и менее, о чем ниже будет сделано особое пояснение.

Одной из широко используемых ИМ анизотропной трещиноватой породы является модель с тремя взаимно перпендикулярными системами плоско параллельных трещин разной густоты. Анизотропия такой модели рассмотрена в работе [2], однако целесообразно уточнить сделанные в ней выводы с учетом указанных выше условий.

Пусть куб породы с ребром 1 м и УЭС скелета  $\rho_{ск}$  (см.рис.1,а) разбит тремя взаимно перпендикулярными системами плоских трещин, заполненных водой с сопротивлением  $\rho_w$ . Условимся, что одна из систем трещин объемом  $v_1$  параллельна плоскости XOY; вторая, с



Интерпретационные модели (ИМ) трещиноватой породы:

- а - ИМ с тремя системами плоско-параллельных трещин, б - график зависимости  $\lambda = f(\lambda_w)$  для выбора модели: 1 - ИМ с плоскими трещинами, 2 - ИМ с трубчатыми порами.

объемом  $v_2$ , параллельна плоскости XOZ, а третья, с объемом  $v_3$ , параллельна плоскости YOZ. Положим  $v_1 \geq v_2 \geq v_3$  и  $v_1 + v_2 + v_3 = v < 0,03 - 0,05$ .

Удельное сопротивление такой модели вдоль оси X равно

$$\rho_x = \rho_0 / [v_1 + v_2 + (1-v) / \mu] , \quad (1)$$

где  $\mu = \rho_{сх} / \rho_0$ .

Полагая, в соответствии с принятым выше условием,  $\mu > 10^6$  и  $v_1 \geq v_2 \geq v_3 > 0,0001$ , выражение (1) с погрешностью менее 1% можно записать в виде

$$\rho_x = \rho_0 / (v_1 + v_2) = \rho_0 / v_x . \quad (2)$$

Величина УЭС трещиноватой породы в любом направлении увеличивается за счет извилистости поровых каналов -  $T$ . Извилистость оценивают как отношение средней статистической длины поровых каналов между двумя параллельными плоскостями к расстоянию между ними. Как показано в [3], УЭС породы возрастает пропорционально квадрату извилистости. Вводя извилистость  $T_x$  в выражение (2), получим:

$$\rho_x = \rho_0 \cdot T_x^2 / v_x . \quad (3)$$

Наконец, по аналогии с высокопористыми породами [3] введем параметр пористости, или относительное сопротивление породы

$$P_x = \rho_x / \rho_0 = T_x^2 / v_x = T_x^2 / (v_1 + v_2) . \quad (4)$$

Выражения параметра пористости для двух других направлений имеют такой же вид:

$$\begin{aligned} P_y &= \rho_y / \rho_0 = T_y^2 / v_y = T_y^2 / (v_1 + v_3) , \\ P_z &= \rho_z / \rho_0 = T_z^2 / v_z = T_z^2 / (v_2 + v_3) . \end{aligned} \quad (5)$$

Полученные формулы можно применять для решения прямой задачи при различных значениях извилистости вдоль осей анизотропии. Для упрощения решения обратной задачи удобно принять извилистость поровых каналов одинаковой по разным направлениям, равной некоторому ее усредненному значению, т.е.

$$T_x = T_y = T_z = T . \quad (6)$$

При этом условии среднее сопротивление такой породы равно

$$\rho_{ср} = 3 / (1/\rho_x + 1/\rho_y + 1/\rho_z) = 1,5 \cdot T^2 \cdot \rho_0 / v , \quad (7)$$

а параметр пористости

$$P = 1,5 \cdot T^2 / v . \quad (8)$$

Для принятых условий модели выполняется соотношение  $\rho_x \leq \rho_y \leq \rho_z$ , причем

$\rho_z / \rho_x = \lambda^2$ , а  $\rho_y / \rho_x = \lambda_c^2$ . При известных значениях  $\rho_x$ ,  $\rho_y$  и  $\rho_z$  можно записать следующие выражения объемов трещин разных направлений:

$$\begin{aligned} v_1 &= 0.5 \cdot \rho_x \cdot T^2 \cdot (1/\rho_x + 1/\rho_y - 1/\rho_z); \\ v_2 &= 0.5 \cdot \rho_x \cdot T^2 \cdot (1/\rho_x + 1/\rho_z - 1/\rho_y); \\ v_3 &= 0.5 \cdot \rho_x \cdot T^2 \cdot (1/\rho_z + 1/\rho_y - 1/\rho_x). \end{aligned} \quad (9)$$

При наблюдении соотношения (6) и  $v_1 \geq v_2 \geq v_3$  описываемая интерпретационная модель существует только при условии  $v_3 \geq 0$ , что соответствует неравенствам

$$\begin{aligned} 1/\rho_z + 1/\rho_y - 1/\rho_x &\geq 0, \text{ или} \\ 1/\lambda^2 + 1/\lambda_c^2 &\geq 1. \end{aligned} \quad (10)$$

Из (9) и (10) следует, что при  $v_3 = 0$  в модели остаются две системы плоско параллельных трещин, которые обеспечивают трехосную анизотропию модели, если  $v_1 \neq v_2$ .

Если же условие (10) не выполняется, то использовать данную модель в качестве интерпретационной нельзя, а следует выбрать ИМ с другой структурой порового пространства.

Альтернативной интерпретационной моделью малопористой породы является модель с тремя взаимно перпендикулярными системами трубчатых пор, имеющих сечение произвольной формы и заполненных водой (Нестеров, 1938; Тархов, 1948).

Обозначим суммарный объем трубчатых пор между гранями единичного куба, параллельными плоскости ZOY (см. рис. 1, а), как  $v_x$ ; между гранями, параллельными плоскости XOZ, -  $v_y$ ; между гранями, параллельными плоскости XOY, -  $v_z$ . Как и для предыдущей модели условимся, что  $v_x \geq v_y \geq v_z$ , а суммарный объем цилиндрических пор в породе равен  $v_x + v_y + v_z = v < 0,03 - 0,05$ . Тогда для такой модели трещиноватой породы с учетом извилистости поровых каналов и соблюдения условия (6) получим:

$$P_x = T^2 / v_x; \quad P_y = T^2 / v_y; \quad P_z = T^2 / v_z; \quad (11)$$

откуда

$$v_x = T^2 / P_x; \quad v_y = T^2 / P_y; \quad v_z = T^2 / P_z. \quad (12)$$

Среднее сопротивление такой модели равно

$$\rho_{cp} = 3 / (1/\rho_x + 1/\rho_y + 1/\rho_z) = 3 \cdot T^2 \cdot \rho_x / v, \quad (13)$$

а параметр пористости:

$$P = 3 \cdot T^2 / v. \quad (14)$$

На рис. 1, б вертикальной штриховкой показана область значений коэффициентов  $\lambda$  и  $\lambda_c$ , соответствующая модели с тремя системами плоско параллельных трещин. Справа эта область ограничена линией  $\lambda = \lambda_c / (\lambda_c^2 - 1)^{1/2}$ , которой соответствует частный случай модели трехосной анизотропной среды с двумя системами плоских трещин. Из условия (10) следует, что для модели с плоско параллельными трещинами коэффициент анизотропии  $\lambda_c \leq \sqrt{2}$ .

Для модели с трубчатыми порами (горизонтальная штриховка) никаких ограничений по величине и соотношению коэффициентов анизотропии  $\lambda$  и  $\lambda_c$  не требуется.

При решении обратной задачи - определении трещиноватости массива по известным значениям составляющих тензора сопротивлений  $\rho_x$ ,  $\rho_y$ ,  $\rho_z$  с помощью формул (9) либо (12) - необходимо располагать сведениями об извилистости  $T$  поровых каналов и удельном сопротивлении поровой воды  $\rho_e$ .

Величина извилистости  $T$  малопористых пород оценивалась разными исследователями как теоретически, так и экспериментально. В работе [9] для породы с ромбической укладкой зерен обоснована величина  $T = 1/\sin 45^\circ = 1.4142$ . Однако в формуле для параметра пористости, приведенной в данной работе, величина  $T$  ошибочно указана в первой степени, а не в квадрате. Похожая неточность допущена и в работе [2], где дано теоретическое обоснование того, что наиболее вероятный угол между одной из систем плоских трещин и направлением тока равен  $45^\circ$ , так же, как и в [9]. Рассчитанное для этого угла значение  $T$  составляет около 1.15.

Если же принять (по А.Г.Тархову) значение  $T^2 = 2$  и подставить в приведенные выше формулы для обеих рассмотренных моделей, то выражение, например, среднего параметра пористости примет вид:

$$P = \rho_{cp} / \rho_e = a / v, \quad (15)$$

где  $a = 3$  для модели с плоскими трещинами и  $a = 6$  для модели с трубчатыми порами.

Для малопористых эффузивов, вмещающих южноуральские колчеданные месторождения, А. А. Редозубову [6] удалось экспериментально оценить величину числового коэффициента  $a$  в формуле (15). На основании измерений пористости и сопротивления поровых вод для образцов горных пород им было установлено, что при пористости  $v < 0.7 - 0.8\%$  и сопротивлении поровой воды  $\rho_e = 3$  Ом·м этот коэффициент оказался равным в среднем 5, а при  $v > 2\%$  и  $\rho_e = 0.6$  Ом·м он составил около 7.5. Величина полученного коэффициента  $a$  дает основание полагать, что в указанном диапазоне изменения пористости для исследованных образцов характерна трубчатая форма поровых каналов, и в качестве интерпретационной подходит вторая модель трещиноватой породы. Среднее значение извилистости при этом равно  $T = (a/3)^{1/2} = (6.25/3)^{1/2} = 1.44$ , что весьма близко к предложенному А. Г. Тарховым.

Методика непосредственного определения УЭС поровых вод (метод двух растворов) для пород с низкой пористостью обычно не применяется при массовых определениях физических свойств из-за малой точности и нетехнологичности. А. Г. Тархов, например, рекомендовал определять  $\rho_e$  из выражения (15) по измеренным значениям  $\rho_{cp}$  и  $v$ . Определив  $\rho_e$  для образца с минимальной пористостью, он затем полагал его неизменным для остальных образцов [9].

Для оценки трещиноватости таких пород нами предлагается использовать описанные в литературе эмпирические зависимости среднего удельного сопротивления этих пород от пористости.

Широко известна одна из таких зависимостей, приведенная в [4]. Однако выборка, на основании которой построена эта экспериментальная зависимость УЭС образцов от пористости, невелика и составляет всего 28 определений. Кроме того, при выполнении этого эксперимента определялась не открытая, а общая пористость образцов. Все это не позволяет применять описанную в [4] зависимость УЭС образцов от пористости для практических целей.

В то же время в цитированной выше работе [6] приводятся результаты свыше 700 определений УЭС и пористости образцов зерна различных по составу рудовмещающих пород многих медноколчеданных месторождений Южного Урала, выполненных А. А. Редозубовым и И.И.Бредневым. В диапазоне изменения пористости  $0.005 < v < 0.04$  она вполне удовлетворительно аппроксимируется соотношением

$$\rho_{cp} = 0.1 / v^2 . \quad (16)$$

Сходная эмпирическая зависимость была получена В. М. Сапожниковым по результатам обработки электрокаротажа на месторождении Осеннее [8], хорошо согласующаяся с данными работы [6]. Неплохое совпадение результатов этих работ при существенном различии исходных данных и географии исследований свидетельствует, на наш взгляд, об определенной универсальности соотношения (16).

Предлагаемая методика приближенной оценки трещиноватости массива по данным изучения его электрических свойств сводится к следующему.

1. На основании результатов наблюдений по методу заряда в безрудной скважине способом, описанным в (1), определяются значения составляющих тензора сопротивлений  $\rho_x$ ,  $\rho_y$ ,  $\rho_z$  и по условию (10) выбирается тип интерпретационной модели.

2. Рассчитывается среднее УЭС массива как  $\rho_{cp} = 3 / (1/\rho_x + 1/\rho_y + 1/\rho_z)$ , и с помощью (16) определяется общая трещинная пористость массива  $v$ .

3. Из формул (9) либо (12), в зависимости от типа ИМ, находятся соотношения объемов трещин разного направления ( $v_1 : v_2 : v_3$  либо  $v_x : v_y : v_z$ ), а затем по известному  $v$  определяются и значения этих объемов.

4. По вычисленным  $\rho_{cp}$  и  $v$  с помощью соотношения (15) определяется сопротивление поровой воды  $\rho_e$ .

Наконец, уместно сделать пояснение в связи с высказанным выше замечанием о некорректности расчета анизотропии электрических свойств малопористой трещиноватой породы при  $\mu = \rho_{cx} / \rho_e \leq 10^3$ . Во многих работах, где рассматриваются электрические свойства трещиноватой породы,  $\rho_{cx}$  трактуют как сопротивление "не нарушенных трещинами блоков породы" либо "непрерывной породы (блоков породы, ограниченных трещинами)" [2,3].

Однако следует подчеркнуть, что по своему физическому смыслу параметр  $\mu$  есть не что иное, как *параметр пористости* для этих ограниченных трещинами блоков породы. По приведенным выше формулам для любых значений  $\mu$  нетрудно оценить пористость внутри таких блоков. Так, например, в работе [5] при изучении анизотропии трещиноватой породы принималось значение  $\mu = 100$ . По формуле (15) для ИМ с плоскими трещинами объемная пористость этих "ненарушенных трещинами" блоков составит 3%, а суммарная объемная пористость, вместе с предусмотренной расчетом трещинной пористостью (3%), достигнет 6%. А в работе [2] такие же расчеты выполнялись даже при  $\mu = 10$ , что соответствует 30-процентной пористости в "непрерывной породе"!

Естественно, что при подобных значениях  $\mu$  становится некорректным само понятие "ненарушенного трещинами блока", и такие модели породы нельзя относить к категории малопористых. Удельное сопротивление блоков породы, действительно не нарушенных сквозными трещинами и не содержащих по этой причине поровой воды, должно превышать сопротивление последних на 7 и более порядков, как и подчеркивалось выше.

В заключение рассмотрим пример определения трещиноватости массива горных пород по рекомендованной в настоящей работе методике.

При статистическом анализе результатов 85 определений параметров анизотропной среды по данным метода заряда на 4-х участках Среднего Урала нами были выделены три однородных распределения по коэффициентам анизотропии  $\lambda$  и  $\lambda_z$ . Два из них по величине модальных значений коэффициентов анизотропии отвечают модели трещиноватой водонасыщенной породы. В табл. I показаны модальные значения параметров анизотропной среды для этих распределений. Для первого из них справедливо условие (10), и расчет объемной трещиноватости выполнялся для

интерпретационной модели с тремя разноориентированными системами плоских трещин. Значения удельных сопротивлений второго распределения соответствовали модели с трубчатыми порами.

Таблица 1

Модальные значения параметров трехосной анизотропии массива для однородных статистических распределений по  $\lambda$  и  $\lambda_z$

Распределение	$\rho_x$ Ом·м	$\rho_y$ Ом·м	$\rho_z$ Ом·м	$\rho_{cp}$ Ом·м	$\lambda$	$\lambda_z$
I	825	1110	3070	1230	1,93	1,16
II	240	390	2270	420	3,1	1,27

Результаты определений объемной трещиноватости по данным табл.1 приведены в табл.2. Для первого распределения суммарная пористость составила 0,90 % , а соотношение значений объемной пористости вдоль главных осей тензора электропроводности равно 3,7 : 2,8 : 1. Сопротивление поровой воды составило 3,7 Ом·м .

Таблица 2

Определение объемной трещиноватости массива (по данным табл.1)

Распределение	$v_x$ %	$v_y$ %	$v_z$ %	$v$ %	$\rho_w$ Ом·м	Тип пор
I	0,52	0,32	0,06	0,90	3,70	Плоские трещины
II	0,91	0,55	0,09	1,55	1,02	Трубки

Для второго распределения суммарная объемная пористость увеличилась до 1,55 % , а сопротивление поровой воды уменьшилось до 1,02 Ом·м . Соотношение значений пористости вдоль осей тензора электропроводности составило 9,6 : 5,9 : 1 . Это соотношение, а также изменение абсолютных значений пористости свидетельствуют о существенном увеличении ориентированной трещиноватости двух первых систем. По изменению приведенных в табл.1 и 2 параметров можно судить об изменении физических свойств трещиноватой анизотропной породы при преобразовании ее из рассланцованной породы в типичный сланец. Приведенные в обеих таблицах данные согласуются с результатами аналогичных работ [6,8] для Южного Урала.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А. с. 1619214 (СССР). Способ поисков гидротермальных рудных месторождений/ А. А. Редозубов, С. С. Сысков, В. М. Сапожников, П.Н. Коврижных, И. Г. Сквородников, 1991.
2. Горюнов И. И. Удельное электрическое сопротивление трещиноватой породы// Прикладная геофизика. - Вып 2. - М.: Недра, 1964. - С.173 - 179.
3. Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения пород. - М.: Недра, 1975. - 344 с.
4. Петрофизика: Справочник. В трех книгах. Книга первая. Горные породы и полезные ископаемые/ Под ред. Н.Б. Дортман. - М.: Недра, 1992. - 391 с.
5. Редозубов А. А. К вопросу применения электроразведки в анизотропных породах// Вопросы

рудной геофизики: Труды Свердл. горного ин-та, вып.105. - Свердловск, 1973. - С. 18 - 32.

6. Редозубов А.А. Об электрическом сопротивлении пород, вмещающих колчеданные месторождения Урала // Методика поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений. Вып. 128. - Свердловск: Изд-во СГИ, 1975. С.-53-61.

7. Редозубов А. А., Сысков С. С. Изучение анизотропии горных пород в рудной электроразведке// Известия Уральского горного института. Сер.: Геология и геофизика. - 1993. - Вып. 2. - С. 163-171.

8. Семенов М. В., Сапожников В. М. и др. Электроразведка рудных полей методом заряда. - Л.: Недра, 1984. - 216 с.

9. Тархов А. Г. О сопротивлении и диэлектрической постоянной горных пород в переменных электрических полях // Материалы ВСЕГЕИ, Геофизика, сб.12. -М.-Л.: Госгеоллиздат, 1948. - С. 3-42.

10. Шейнман С. М. Элементы теории электроразведки анизотропных сред. - Материалы ВСЕГЕИ. Сер.: Геофизика, 9 -10. - М., Л.: Госгеоллиздат, 1941. - С. 105 - 144.

УДК 550.835

А.В.Давыдов, В.А.Давыдов

### МЕТОД АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ДАННЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ ЯДЕРНОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В работе [1] рассмотрена возможность повышения точности и производительности ядернофизических измерений путем статистической группировки полезной информации в реальном масштабе времени в двух коррелированных статистически независимых потоках сигналов:  $n$  (основном) и  $m$  (дополнительном). Измерения частоты  $m$  в дополнительном потоке сигналов предложено использовать для прогнозирования плотности распределения вероятностей  $P(n)$  частоты  $n$  в основном потоке сигналов с последующим решением уравнения Байеса для уточнения отсчетов частоты  $n$  в основном потоке сигналов. Выходные решения уравнения Байеса представлены в следующем виде:

$$z = \beta N + (1 - \beta) M / \bar{X}, \quad (1)$$

где  $z = \tau n$  - искомые уточненные отсчеты частоты  $n$  точек измерений,  $\tau$  - экспозиция измерений,  $N$  и  $M$  - отсчеты в потоках  $n$  и  $m$  в текущих точках измерений,  $\beta$  и  $(1 - \beta)$  - весовые коэффициенты доверия отсчетам  $N$  и  $M$ ,  $\bar{X}$  - среднее значение отношения частот  $m/n$  в потоках сигналов. Значение  $\beta$  определяется по выражению

$$\beta = D(M) / (D_N \bar{X}^2 + D(M)), \quad (2)$$

где  $D_N = N + 1 \cong N$  - пуассоновская статистика отсчетов  $N$ ;  $D(M) = D_M + D_{x_m}$  - полная дисперсия отсчетов  $M$ ;  $D_M = M + 1 \cong M$  - пуассоновская статистика отсчетов  $M$ ;  $D_{x_m} = M^2 \delta_x^2$  - дисперсия отсчетов  $M$  за счет флюктуаций величины  $x$ , которая в общем случае также может являться величиной, флюктуирующей с относительным среднеквадратическим значением флюктуаций  $\delta_x$ .

Дисперсия и относительная средняя квадратическая погрешность отсчетов  $z$ :