

**АКАДЕМИЯ НАУК РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ УГЛЯ И УГЛЕХИМИИ**

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА –  
МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ВНИМИ**

УТВЕРЖДАЮ

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института угля  
и углехимии СО РАН



В. П. Потапов

2009 г.

Генеральный директор НИИ горной  
геомеханики и маркшейдерского  
дела –  
Межотраслевой научный центр  
ВНИМИ



Д. В. Яковлев

2009 г.

**МЕТОДИКА  
ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В КОНТУРЕ  
ПОДГОТОВЛЕННОГО ВЫЕМОЧНОГО СТОЛБА**

Кемерово – Санкт-Петербург – 2009

УДК 622.142: 551.243: 550.8.053:519.2

**Методика горно-геометрического прогнозирования разрывных нарушений угольных пластов в контуре подготовленного выемочного столба / С. В. Шаклеин, Т. Б. Рогова. – Кемерово – Санкт-Петербург, 2009. - 33 с.**

Методика регламентирует порядок проведения горно-геометрического прогнозирования нарушений угольных пластов в контуре подготовленного выемочного столба по результатам шахтных геологических наблюдений, выполненных в соответствии с требованиями «Инструкции по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации».

Изложенный метод прогнозирования местоположений и амплитуд разрывных нарушений основан на анализе характера пространственного изменения ожидаемой погрешности положения почвы (кровли) угольного пласта в недрах, установленного по результатам оконтуривания выемочного столба горными выработками.

Результаты выполнения горно-геометрического прогнозирования нарушений предназначены для оценки горно-геологических условий разработки угольных пластов, выявления аномальных тектонических зон и других участков изменения геомеханических характеристик вмещающих пород.

Составители:

С. В. Шаклеин, Т. Б. Рогова,

## **1. Область и условия применения методики**

1.1. Горно-геометрическое прогнозирование разрывных нарушений угольных пластов в контуре подготовленных выемочных столбов выполняется для оценки горно-геологических условий разработки угольных пластов, выявления аномальных тектонических зон и других участков изменения геомеханических характеристик вмещающих пород. Промежуточные результаты применения настоящей методики могут использоваться при оценке ожидаемой точности построения гипсометрического плана пласта в контуре столба.

1.2. Необходимым и достаточным условием выполнения горно-геометрического прогнозирования разрывных нарушений угольных пластов с помощью данной методики является наличие прямых измерений, выполненных геологической службой угольных шахт в соответствии с нормативными требованиями к периодичности и содержанию геолого-маркшейдерских измерений, производимых в конвейерных и в вентиляционных штреках выемочных столбов.

## **2. Основные принципы выполнения горно-геометрического прогнозирования нарушений**

2.1. Горно-геометрический прогноз разрывных нарушений угольных пластов в контуре подготовленных выемочных столбов основывается на анализе характера изменения количественных характеристик степени неоднозначности горно-геометрических построений (геометризации) положения почвы (кровли) угольного пласта в контуре подготовленного выемочного столба.

2.2. В качестве количественного показателя степени неоднозначности горно-геометрических построений (геометризации) положения почвы (кровли) угольного пласта используются лямбда- и дельта-критерии разведанности, рекомендованные для практического использования протоколом НТС ФГУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» от 22.05.2007. Критерии представляют собой разность высотных отметок почвы (кровли) угольного пласта в точке пересечений диагоналей четырехугольного контура замеров, полученных из линейной (дельта-критерий) или нелинейной (с учетом измеренных элементов залегания пласта) интерполяции между точками шахтных измерений, принадлежащих одной диагонали. Применительно к рис. 1, критерий разведанности представляет собой разность высотных отметок почвы (кровли) пласта в точке К, полученных из интерполяции вдоль диагоналей 1–3 и 2–4.

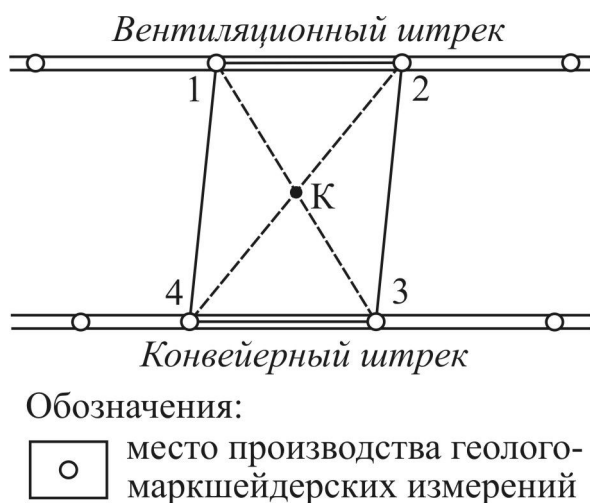


Рис. 1. К понятию критерия разведанности

2.3. Измеряемая с помощью критериев разведанности степень неоднозначности построений определяется тремя видами погрешностей:

- выполненных измерений;
- применяемого метода интерполирования;

– дополнительной погрешностью интерполяции, вызванной влиянием дизъюнктивных нарушений (вскрытых, либо неизвестных), не учитываемых применяемыми формализованными методами интерполяции.

Процедура прогнозирования разрывных нарушений угольных пластов сводится к выделению геометризованных зон с повышенным уровнем неоднозначности гипсометрических построений, наличие которых рассматривается как результат действия третьего вида погрешностей, т. е. следствия влияния разрывных нарушений.

2.4. Информационной основой прогнозирования служит нерегулярная сеть геолого-маркшейдерских наблюдений по оконтуривающим выемочный столб штрекам (рис. 2).

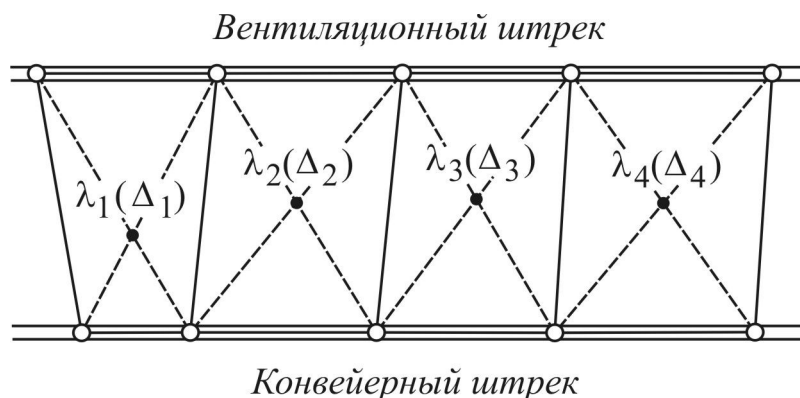


Рис. 2. Сеть геолого-маркшейдерских измерений по оконтуривающим выемочный столб штрекам и ее квадриангуляция

В каждой точке измерений этой сети, в соответствии с требованиями «Инструкции по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации», должны быть определены плоские геодезические координаты  $X$ ,  $Y$  места проведения измерений высотной отметки почвы (кровли) пласта  $Z$  в нем, а также элементов залегания пласта: азимута направления падения ( $\alpha$ ) и угла падения ( $\delta$ ).

В случае отсутствия прямых измерений элементов залегания пласта в точках измерения, допускается выполнение горно-геометрического прогнозирования при наличии только сведений об их пространственных координатах ( $X$ ,  $Y$  и  $Z$ ). Качество прогноза нарушенности в этом случае несколько снижается.

Для выполнения прогноза нерегулярная сеть геолого-маркшейдерских наблюдений разделяется на систему четырехугольных блоков (см. рис. 2) в каждом из которых рассчитывается критерий разведанности. В случае наличия полного комплекса наблюдений:  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $\alpha$  и  $\delta$  рассчитывается лямбда-критерий, а при наличии только пространственных координат:  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  – дельта-критерий.

Первичным признаком наличия нарушения является резкое увеличение величины критерия разведанности в отдельных четырехугольных блоках или в их группах. Однако при таком подходе трудно локализовать место расположения нарушения, его ориентировку и протяженность.

Исходя из теоретического равенства критериев нулю, в связи с тем, что положение пласта в действительности строго детерминировано, значения критериев разведанности могут рассматриваться в качестве своего рода «невязок», то есть в качестве меры выполнения геометрического, объективно существующего условия.

Имея значения критериев («невязок») по всем четырехугольникам сети, можно поставить задачу, аналогичную задаче геодезического уравнивания: необходимо найти величины («поправки»), на которые следовало бы изменить значения определенных в точках измерений высотных отметок почвы (кровли) пласта так, чтобы «невязки» по всем блокам одновременно стали равными нулю. Значения поправок к отметкам, как и сами значения критериев, определяются не только погрешностями измерений и интерполяции, но и погрешностями построений, связанными с наличием нарушений.

Перечисленные погрешности действуют одновременно, тогда, как с позиции прогнозирования необходимо оценить лишь влияние последнего из них. В основу процесса такой оценки положено очевидное предположение о том, что технические погрешности измерений (зависящие от методики технических средств измерений) и погрешности интерполирования (зависящие от плотности сети измерений и сложности геологического строения) в условиях отдельного выемочного столба носят характер своеобразного «информационного шума», действуют повсеместно и относительно постоянно. В это же время погрешности построений, связанные с разрывными нарушениями, проявляются лишь на локальных участках, переменны по величине, и образуют отдельную статистическую совокупность.

Выделение «шумовой составляющей» осуществляется на основе анализа интенсивности изменения значений поправок между соседними точками измерений. Числовой характеристикой этого изменения является «градиент» поправок численно равный их разности, отнесенной к расстоянию между соответствующими точками геолого-маркшейдерской сети измерений.

Так как «градиенты» поправок (которые будем в дальнейшем называть «нормальными градиентами»), связанные с влиянием погрешностей измерений и интерполяции не должны претерпевать больших изменений (в связи с относительно постоянными расстояниями между точками производства измерений и незначительным изменением сложности геологического строения пласта в пределах отдельного выемочного столба), то их распределение теоретически должно подчиняться нормальному закону (распределение «А» на рис. 3).

Градиенты, находящиеся в зоне влияния дизъюнктивных нарушений (в дальнейшем – «аномальные градиенты»), также должны образовывать собственные распределения, отличающиеся иным математическим ожиданием и дисперсией являющихся следствием действия дополнительно возникающей погрешности.

При наличии нескольких групп геометрически однотипных дислокаций могут образовываться несколько распределений аномальных «градиентов» (см. распределения «В» и «С» на рис. 3).

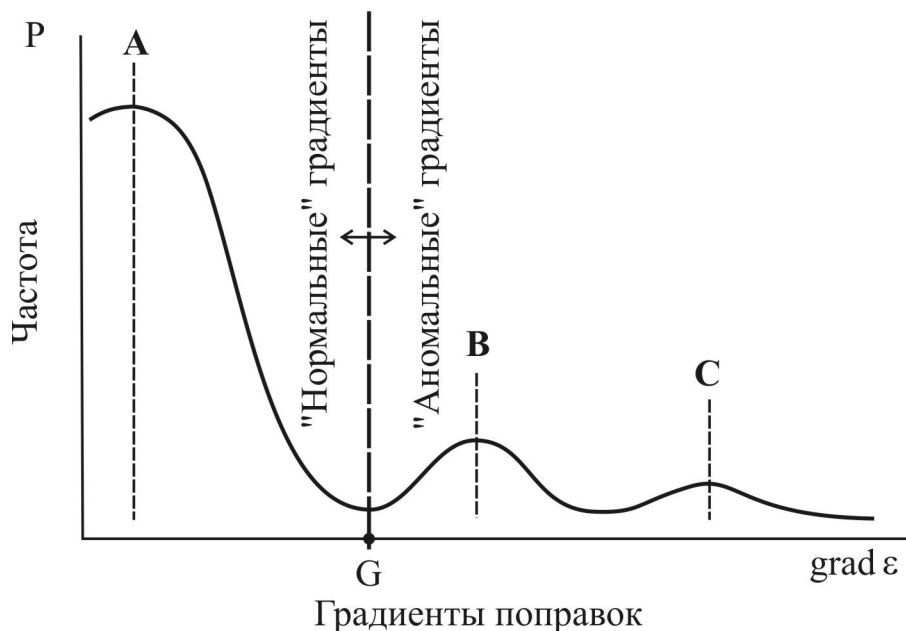


Рис. 3. Характер гистограммы распределения «градиентов» поправок

Следовательно, фактическое распределение «градиентов» поправок, полученное для пораженных разрывными нарушениями выемочных столбов, должно представлять собой суперпозицию нескольких распределений.

В результате анализа фактического распределения «градиентов» устанавливается значение «градиента»  $G$  (см. рис. 3), при превышении которого «градиенты» должны рассматриваться как аномальные, т. е. связанные с влиянием разрывных нарушений.

Направления выделенных аномальных «градиентов» показываются на плане и рассматриваются как направления, пересекаемые разрывными нарушениями (рис. 4).

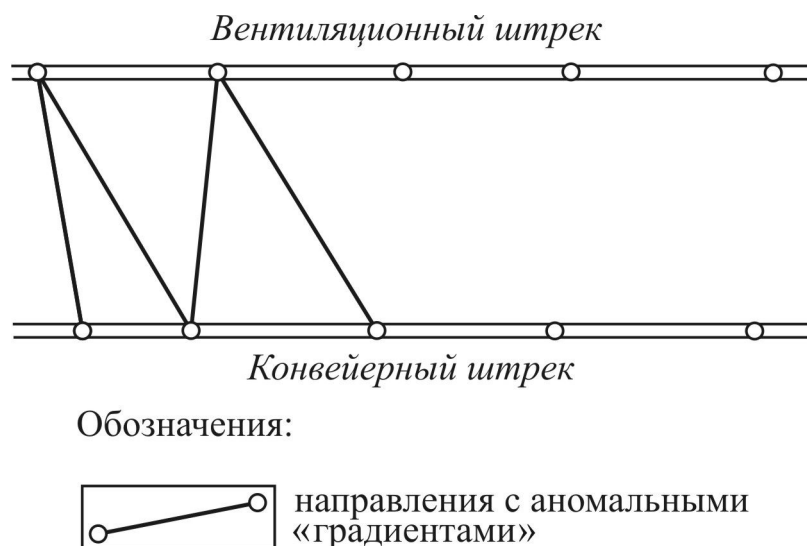


Рис. 4. Положение направлений с аномальными «градиентами»

На следующем этапе прогнозирования намечаются положения вероятных линий скрещения нарушений с пластом.

Они проводятся под условием пересечения ими линий аномальных «градиентов». Само построение выполняется одним из двух способов.

Первый из них состоит в построении линии скрещения при ее расположении, соответствующей ориентировке известных систем разрывных нарушений. Этот подход применяется и в случае, если сместитель нарушения был подсечен штреком и его элементы залегания были измерены.

Второй способ применяется при невозможности использования вышеупомянутого и состоит в прогнозировании направления развития нарушения параллельно специально построенным изолиниям поправок. Правомерность такой трассировки нарушения вытекает из того, что поскольку пересекаемыми нарушением направлениями являются направления максимального изменения значений поправок (которыми являются направления «падения» топоповерхности поправок), то линии скрещения должны быть перпендикулярны им и, соответственно, параллельны изолиниям поправок (рис. 5).

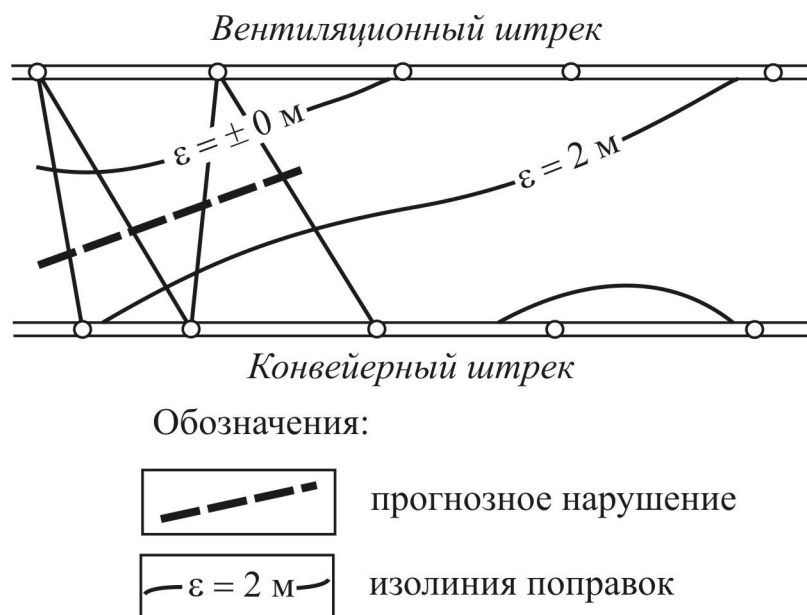


Рис. 5. Прогноз положения нарушения с использованием изолиний поправок

На завершающей стадии прогнозирования выполняется прогноз вертикальных амплитуд выявленных нарушений. Этот прогноз осуществляется на основе экспериментально установленных статистических зависимостей амплитуд нарушений от величины критерия разведанности и положения линии скрещения в пересекаемых нарушением четырехугольных блоках.

В целом, последовательность работ по прогнозированию включает следующие этапы:

- квадриангулирование сети наблюдений;
- расчет критериев разведанности по четырехугольным блокам;
- уравнивание;
- расчет «градиентов» поправок;
- построение гистограммы распределения «градиентов» поправок;
- определение аномального уровня «градиентов» и указание положения таких «градиентов» на графической основе;
- построение изолиний поправок;

- построение положений прогнозных нарушений;
- определение ожидаемых амплитуд прогнозных нарушений.

### **3. Порядок квадриангулирования сети наблюдений**

3.1. Квадриангулирование сети наблюдений, т. е. разделение сети замеров на блоки четырехугольной формы осуществляется в следующей последовательности:

- выделяются блоки, со сторонами, в максимальной степени ортогональными выемочным штрекам (рис. 6а);
- выделяются блоки со сторонами, «наклоненными» (со «сдвигом на одну точку») в сторону монтажной (демонтажной) камеры (рис. 6б);
- выделяются блоки со сторонами, «наклоненными» (со «сдвигом на одну точку») в сторону демонтажной (монтажной) камеры (рис. 6в).

Все группы блоков объединяются в единую совокупность, являющуюся итоговым результатом квадриангулирования (рис. 6г).

3.2. Не допускается выделение четырехугольных блоков сети не имеющих общих сторон (расположенных внутри выемочного столба) ни с одним другим блоком.

3.3. При квадриангулировании следует стремиться к тому, чтобы точка пересечения диагоналей четырехугольного блока была расположена возможно более близко к его центру. Точка пересечения диагоналей не должна находиться от вершин блока ближе, чем на одну пятую часть длины диагонали. В случае если имеющаяся сеть, вследствие неравномерности размещения отдельных замеров, не обеспечивает выполнения данного условия (например, в результате наличия замера «А» на рис. 7а), допустимо их исключение из квадриангулирования (рис. 7б).

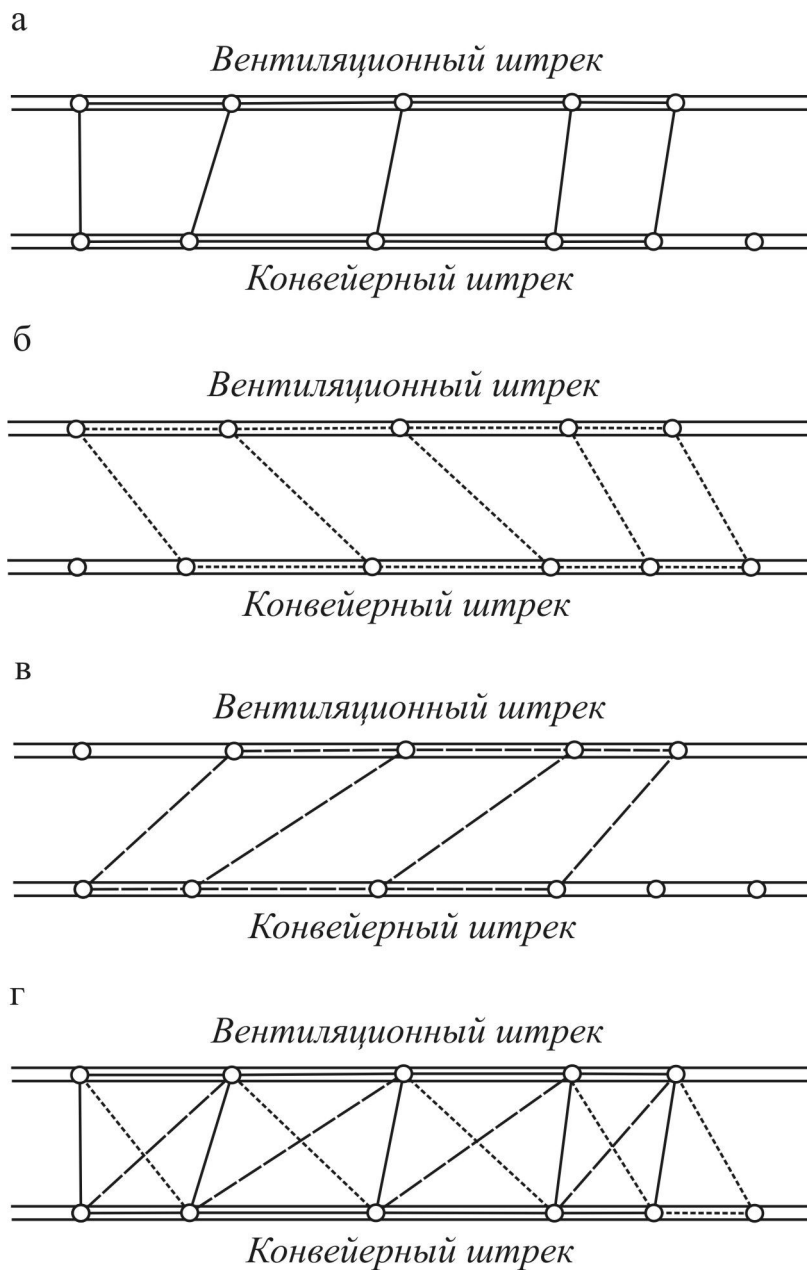


Рис. 6. Последовательность выполнения квадрангулирования

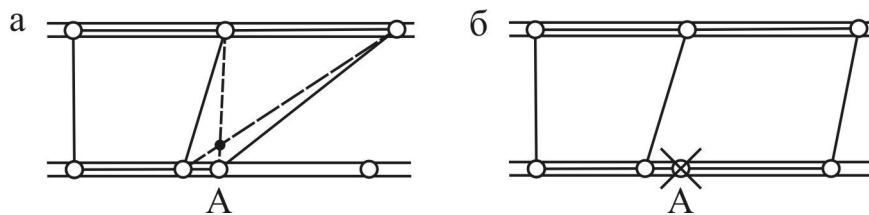


Рис. 7. Исключение отдельных замеров из квадрангулирования

#### 4. Порядок расчета критериев разведанности по четырехугольным блокам сети измерений

4.1. Расчет критериев разведанности производится по каждому выделенному четырехугольному блоку.

По всем без исключения точкам сети геолого-маркшейдерских измерений используемым при квадриангуляции должны быть определены плоские геодезические координаты  $X$ ,  $Y$  и высотные отметки почвы (кровли) пласта  $Z$ . В случае если по всем без исключения точкам сети геолого-маркшейдерских измерений используемым при квадриангуляции непосредственно измерены элементы залегания пласта (дирекционный угол направления линии падения и угол падения), то выполняется расчет лямбда-критериев разведанности ( $\lambda$ ). При отсутствии данных по элементам залегания пласта хотя бы в одной из использованных при квадриангуляции точке сети, выполняется расчет дельта-критериев разведанности ( $\Delta$ ).

Для производства расчетов по каждому четырехугольному блоку его вершины условно нумеруются цифрами от 1 до 4, начиная с произвольной вершины, с увеличением роста номеров по (или против) направления движения часовой стрелки (например, так, как это указано на рис. 1).

4.2. Расчет лямбда-критериев разведанности производится с использованием кубической сплайн-интерполяции по формуле:

$$\lambda = [F_1(x)T(\delta_1') - F_2(x)T(\delta_3')] R + (Z_3 - Z_1) F_3(x) + Z_1 - [F_1(x')T(\delta_2') - F_2(x')T(\delta_4')] R' - (Z_4 - Z_2) F_3(x') - Z_2, \quad (1)$$

где  $R$ ,  $R'$  – горизонтальные проложения длин диагоналей 1–3 и 2–4 четырехугольника сети замеров (рис. 1);

$L$ ,  $L'$  – горизонтальные проложения расстояний от замеров 1 и 2 до точки пересечения диагоналей  $K$ ;

$\delta_j'$  – угол падения пласта в точке производства  $j$ -го ( $j = 1, 2, 3$  или  $4$ ) замера в направлении примыкающей к нему диагонали;

$Z_j$  – высотная отметка пласта в точке производства  $j$ -го замера.

$$x = \frac{L}{R} ; x' = \frac{L'}{R'} ;$$

$$F_1(x) = (1 - x)^2 x ; F_1(x') = (1 - x')^2 x' ;$$

$$F_2(x) = (1 - x)x^2 ; F_2(x') = (1 - x')x'^2 ;$$

$$F_3(x) = (3 - 2x)x^2 ; F_3(x') = (3 - 2x')x'^2 ;$$

$T(\delta_j')$  – тангенс угла падения пласта вдоль диагонали, причем, если направление падение пласта совпадает с направлением диагонали (от замера с меньшим условным номером к большему), то тангенс берется со знаком «минус», а в противном случае – со знаком «плюс»).

4.3. Расчет дельта-критериев разведанности производится с использованием линейной интерполяции по формуле:

$$\Delta = (Z_3 - Z_1)x + Z_1 - (Z_4 - Z_2)x' - Z_2 . \quad (2)$$

4.4. Результаты расчета критериев разведанности могут использоваться при оценке точности определения прогнозного положения почвы (кровли) угольного пласта выполняемой в рамках реализации требований п. 3.3 «Положения по горно-геологическому прогнозу условий проведения подготовительных выработок на действующих шахтах угольной промышленности» (М.: Минтопэнерго РФ, 1996).

Оценка точности производится путем определения ожидаемой (с вероятностью 0,68) и выраженной в метрах средней погрешности прогнозного значения высотной отметки пласта ( $R$ ) в контуре выемочного столба по формулам:

– при расчете ламбда-критериев:

$$R \leq k_{\lambda} | \bar{\lambda} |, \quad (3)$$

– при расчете дельта-критериев:

$$R \leq k_{\Delta} | \bar{\Delta} |, \quad (4)$$

где  $k_{\lambda}$  и  $k_{\Delta}$  – коэффициенты пропорциональности;

$\bar{\lambda}$  и  $\bar{\Delta}$  – среднеарифметические значения абсолютной величины критериев разведанности по четырехугольным блокам сети замеров в пределах контура оценки.

При выполнении расчетов принимаются следующие значения коэффициентов пропорциональности:

$$k_{\lambda} = 0,6; \quad k_{\Delta} = 0,8. \quad (5)$$

Вместо указанных в формуле (5) значений коэффициентов допускается использование их величин, адаптированных для условий шахты и установленных на основе результатов сопоставлений данных прогноза с фактическими данными горных работ, выполненных не менее чем по 20 четырехугольным блокам сети измерений.

## **5. Порядок выполнения уравнивания геолого-маркшейдерской сети измерений**

5.1. Уравнивание выполняется методом условий. В качестве основного условия принимается одновременное достижение по всем четырехугольным блокам нулевого значения критериев разведанности, в результате придания каждой измеренной высотной отметке почвы (кровли) пласта соответствующей поправки.

При этом дополнительно налагается условие минимизации суммы квадратов значений всех поправок.

5.2. Уравнивание выполняется в следующем порядке.

Формируется таблица производных  $a_{ik}$  (табл. 3.1). Строки таблицы соответствуют четырехугольным блокам, столбцы – замерам в вентиляционном и конвейерном штреках. Последовательность расположения замеров может быть произвольной (например, замеры по различным штрекам могут чередоваться в любой последовательности). Однако принятая в табл. 1 последовательность замеров должна соблюдаться во всех последующих расчетных таблицах.

Таблица 1 – Таблица производных

Порядковый номер блока ( $k$ )	Порядковый номер замера ( $i$ )					
	1	2	...	$i$	...	$n$
1	$a_{11}$	$a_{21}$	...	$a_{i1}$	...	$a_{n1}$
2	$a_{12}$	$a_{22}$	...	$a_{i2}$	...	$a_{n2}$
3	$a_{13}$	$a_{23}$	...	$a_{i3}$	...	$a_{n3}$
...	...	...	...	...	...	...
$k$	$a_{1k}$	$a_{2k}$	...	$a_{ik}$	...	$a_{nk}$
...	...	...	...	...	...	...
$t$	$a_{1t}$	$a_{2t}$		$a_{it}$		$a_{nt}$

Если замер  $i$  не входит в блок  $k$ , то производная полагается равной нулю ( $a_{ik} = 0$ ). Если замер является вершиной четырехугольника, то производная определяется в зависимости от ее условного номера в блоке (цифры от 1 до 4), принятого при расчете критерия разведанности. Значения производных в зависимости от вида используемого критерия, рассчитываются по формулам, представленным в табл. 2.

Таблица 2 – Формулы расчета значений производных

Условный номер замера в блоке	Формула расчета производной
При использовании ламбда-критерия разведанности	
1	$1 - (3 - 2x) x^2$
2	$(3 - 2x') x'^2 - 1$
3	$(3 - 2x) x^2$
4	$-(3 - 2x') x'^2$
При использовании дельта-критерия разведанности	
1	$1 - x$
2	$x' - 1$
3	$x$
4	$-x'$

Формируется таблица произведений (табл. 3), куда записываются суммы результатов умножений строк друг на друга (табл. 1) –  $S_{jm}$  (где  $j$  и  $m$  – номера перемножаемых строк в табл. 1).

Таблица 3 – Таблица произведений строк

Номер строки	1	2	...	$j$	...	$t$
1	$S_{11}$	$S_{21}$	...	$S_{j1}$	...	$S_{t1}$
2	$S_{12}$	$S_{22}$	...	$S_{j2}$	...	$S_{t2}$
3	$S_{13}$	$S_{23}$	...	$S_{j3}$	...	$S_{t3}$
...	...	...	...	...	...	...
$m$	$S_{1m}$	$S_{2m}$	...	$S_{jm}$	...	$S_{tm}$
...	...	...	...	...	...	...
$t$	$S_{1t}$	$S_{2t}$	...	$S_{jt}$	...	$S_{tt}$



Из решения сформированной системы уравнений, находятся корреляты  $K_k$ .

После этого каждая  $i$ -я строка табл. 1 умножается на корреляту  $K_k$ , а полученные произведения складываются по столбцам (то есть по замерам) – табл. 4. Эти суммы и являются искомыми поправками к высотным отметкам  $\varepsilon_i$ , т. е.:

$$\varepsilon_i = \sum_{k=1}^t a_{ik} \cdot K_k . \quad (8)$$

Таблица 4 – Таблица расчета поправок

Порядковый номер блока ( $k$ )	Порядковый номер замера ( $i$ )					
	1	2	...	$i$	...	$n$
1	$K_1 a_{11}$	$K_1 a_{21}$	...	$K_1 a_{i1}$	...	$K_1 a_{n1}$
2	$K_2 a_{12}$	$K_2 a_{22}$	...	$K_2 a_{i2}$	...	$K_2 a_{n2}$
3	$K_3 a_{13}$	$K_3 a_{23}$	...	$K_3 a_{i3}$	...	$K_3 a_{n3}$
...	...	...	...	...	...	...
$k$	$K_k a_{1k}$	$K_k a_{2k}$	...	$K_k a_{ik}$	...	$K_k a_{nk}$
...	...	...	...	...	...	...
$t$	$K_t a_{1t}$	$K_t a_{2t}$	...	$K_t a_{it}$	...	$K_t a_{nt}$
Поправки (суммы по столбцам)	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$	...	$\varepsilon_i$	...	$\varepsilon_n$

5.3. После уравнивания выполняется оценка его качества. Для этого производится повторный расчет критериев разведанности по формулам (1) или (2) при использовании вместо измеренных величин высотных отметок почвы (кровли) пласта  $Z_i$  их уравненных значений  $Zu_i$ , определяемых по формуле:

$$Zu_i = Z_i + \varepsilon_i . \quad (9)$$

Если среднее значения критериев разведанности, подсчитанные по уравненным данным, в четыре и более раз меньше среднего значения исходных критериев, то качество уравнивания признается «отличным», а если от двух до четырех раз – «хорошим». В остальных случаях качество уравнивания признается «неудовлетворительным».

Низкое качество уравнивания вызывается имеющим место уровнем обусловленности систем уравнений вида (6) или (7), а, в конечном итоге, переменной сложностью геологического строения пласта в пределах выемочного столба. В этом случае размерность системы уравнения должна быть сокращена. Для этого осуществляется фрагментация имеющейся сети геолого-маркшейдерских измерений (рис. 8).

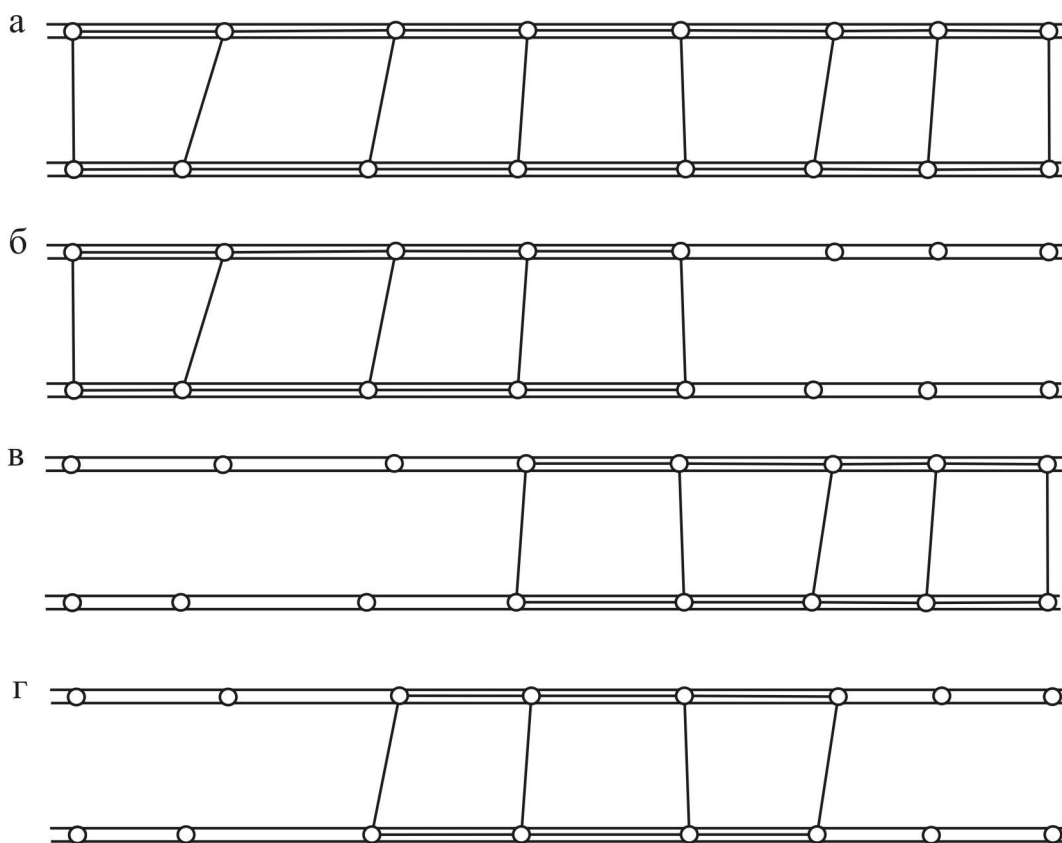


Рис.8. Принципиальная схема фрагментации сети геолого-маркшейдерских измерений

Фрагментация осуществляется путем прогноза нарушенности не по всему выемочному столбу, а по отдельным его частям.

Например, если квадриангулирование всей имеющейся сети измерений (рис. 8а) приводит к формированию системы уравнений с большим числом обусловленности (т. е. к «неудовлетворительному» качеству уравнивания), то необходимо разделить выемочный столб на несколько фрагментов с меньшим числом блоков и произвести их независимую обработку. На рис. 8 выделено три фрагмента – рис. 8б, 8в и 8г. Количество выделяемых фрагментов не лимитируется и определяется качеством последующего уравнивания. При выделении фрагментов должно обеспечиваться их взаимное перекрытие.

При «хорошем» качестве уравнивания выполнение фрагментации сети является желательным, но необязательным условием.

## 6. Порядок расчета «градиентов» поправок

6.1. «Градиенты» поправок рассчитываются между парами точек измерений, расположенными на различных штреках по формуле:

$$\text{grad}\varepsilon_{ik} = \frac{|\varepsilon_i - \varepsilon_k|}{L_{ik}}, \quad (10)$$

где  $\varepsilon_i$  и  $\varepsilon_k$  – значения поправок для  $i$ -го и  $k$ -го замеров;

$L_{ik}$  – расстояние между  $i$ -м и  $k$ -м замерами.

6.2. В качестве направлений, для которых рассчитываются «градиенты», рекомендуется использовать направления диагоналей четырехугольных блоков и их стороны, расположенные в контуре выемочного столба. Расчет «градиентов» между замерами, находящимся на одном и том же штреке, не производится.

## 7. Порядок построения гистограммы распределения «градиентов» поправок и определения их аномального уровня

7.1. Построение гистограммы распределения «градиентов» поправок выполняется с использованием предварительно установленного рационального количества ее интервалов.

7.2. Рациональное количество интервалов гистограммы должно обеспечивать оптимальный баланс между уровнем незакономерных колебаний частот и степенью детальности описания распределения. Установление рационального количества интервалов гистограммы осуществляется путем построения нескольких вариантов гистограммы, характеризующихся различным количеством интервалов. Для каждого варианта рассчитывается показатель колебаний частот соседних интервалов:

$$\eta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (P_i - P_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^{n-1} (P_i + P_{i+1})^2}}, \quad (11)$$

где  $n$  – число интервалов;

$P_i$  – частота в  $i$ -ом интервале.

При наличии в гистограмме интервалов с незначительным (в том числе и «нулевым») количеством «градиентов» расчет  $\eta$  производится, начиная с первого интервала (с минимальными «градиентами»), только по интервалам, суммарно содержащим 95 % всех «градиентов».

Рациональным признается число интервалов, для которого  $\eta = \min$ .

Перебор вариантов количества интервалов гистограммы начинается с их числа, определяемого по формуле Стерджесса:

$$n = 1 + 3,32 \lg N, \quad (12)$$

где  $N$  – количество обрабатываемых «градиентов» поправок.

Другие варианты возможного числа интервалов формируются путем последовательного увеличения и уменьшения их количества, определенного по формуле (12), до тех пор, пока не будет найден первый минимум показателя  $\eta$ .

Например, пусть имеется 127 значений «градиента» поправок. Тогда начальное число рассматриваемых интервалов составляет:

$$n = 1 + 3,32 \lg N = 1 + 3,32 \cdot \lg 127 = 1 + 3,32 \cdot 2,10 = 7,73 \approx 8.$$

Для данного количества интервалов выполняется построение гистограммы (рис. 9а) и определение показателя  $\eta$  по формуле (11). Затем число интервалов уменьшается и увеличивается на единицу, и выполняется построение гистограмм при числе интервалов 7 (рис. 9б) и 9 (рис. 9в).

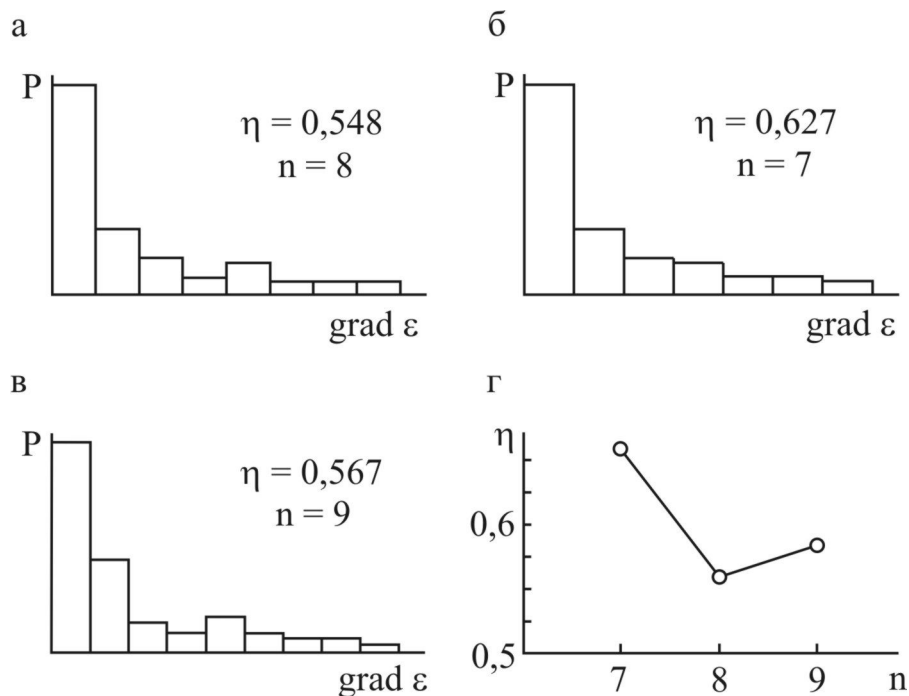


Рис. 9. Порядок построения гистограммы распределения «градиентов» поправок

Одновременно строится график зависимости показателя  $\eta$  от числа интервалов  $n$ . Поскольку полученный график (рис. 9г) указывает на наличие минимума показателя  $\eta$  в диапазоне рассматриваемых количеств интервалов, то перебор вариантов завершается, и в качестве рациональной принимается гистограмма с числом интервалов, равным 8.

7.3. Определение аномального уровня «градиентов» производится на основе использования гистограммы «градиентов», построенной при рациональном количестве интервалов.

Выявление аномального уровня «градиентов» осуществляется на основе декомпозиции гистограммы распределения на две совокупности, первая из которых соответствует усеченному нормальному распределению, восстанавливаемому по интервалам гистограммы с минимальными значениями «градиентов» (пунктирная линия на рис. 10), вторая – нормальному распределению аномальных «градиентов» (линия точек на рис. 10). Декомпозиция может производиться как с использованием количественных методов математической статистики, так и экспертным методом.

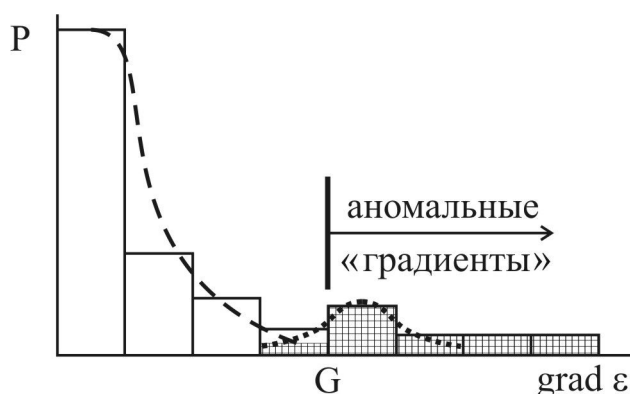


Рис. 10. Определение аномальных «градиентов»

В качестве аномального уровня « $G$ » выбирается начало интервала гистограммы, в котором наблюдается не менее чем пятикратное преобладание аномальных «градиентов» над нормальными.

## 8. Порядок построения положения прогнозных нарушений

8.1. На графической основе показываются положения направлений между замерами, величина «градиента» для которых превышает аномальный уровень « $G$ » (рис. 4).

8.2. Осуществляется построение изолиний поправок к высотным отметкам методом многогранников. Возникающие неопределенности в положении изолиний разрешаются с учетом ориентировки известных систем нарушений, а при невозможности реализации данного подхода – на основе принципа симметрии поля геометризируемого показателя. Обязательному построению подлежит изолиния поправки « $\pm 0$  м», остальные изолинии отстраиваются по мере необходимости.

8.3. Прогнозное положение разрывного нарушения отстраивается под условием пересечения ими линий аномальных «градиентов».

В случае если разрывное нарушение «подсекается» штреком линия скрещения проводится из точки ее подсечения штреком с сохранением выявленного направления его развития.

Ориентировка нескрытых штреками нарушений принимается параллельной нарушениям известных систем (рис. 11а), либо, при невозможности реализации такого подхода из-за наличия нескольких систем, – параллельно преимущественному направлению изолиний поправок. Собственно проведение линии скрещения прогнозного нарушения по заданному направлению производится таким образом, чтобы линия скрещения FE (рис. 11) проходила на равном удалении от середин направлений (точки А, В и С на рис. 11) с аномальными «градиентами».

Точку выклинивания линии скрещения (точка Е на рис. 12) рекомендуется располагать на середине расстояния между пересекающимися прогнозное положение нарушения направлениями с аномальным (точка А на рис. 12) и с нормальным «градиентами» (точка В на рис. 12).

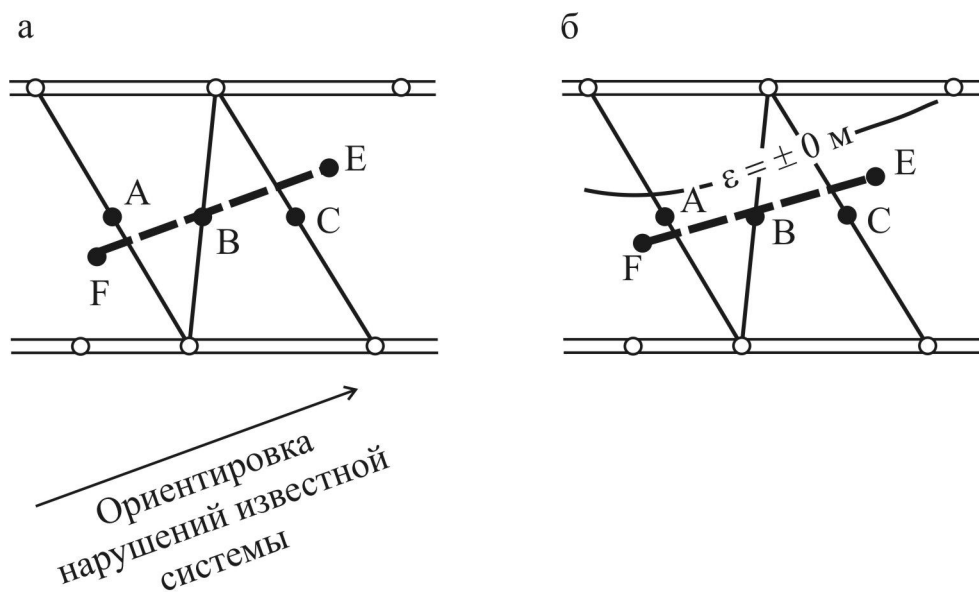
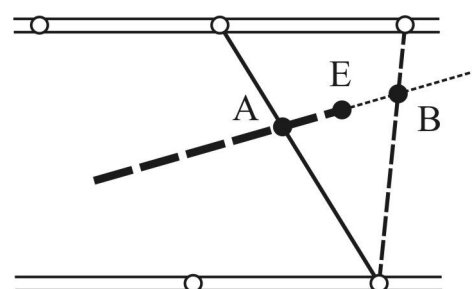


Рис. 11. Прогнозирование положений линий скрещения



Обозначения:

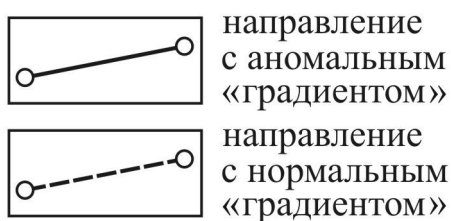


Рис. 12. Прогнозирование положения точки выклинивания линии скрещения

8.4. После определения вертикальных амплитуд прогнозируемых нарушений (см. подраздел 9), производится оценка значимости аномалий, интерпретируемых в качестве нарушений.

Значимыми признаются аномалии, вертикальные амплитуды нарушений в которых превышают величину погрешности определения прогнозного положения почвы (кровли) угольного пласта в контуре выемочного столба  $R$ , определенную в соответствии с рекомендациями п. 4.4 настоящей Методики. Незначимые по амплитудам нарушения в результатах прогноза не учитываются.

8.5. Не рекомендуется учитывать в результатах прогноза нарушения, выявление которых осуществлено только по единственному аномальному направлению в условии, когда их сместитель не был вскрыт подготовительными выработками.

## 9. Прогноз ожидаемых вертикальных амплитуд нарушений

9.1. Прогноз вертикальных амплитуд выполняется на основе экспериментально установленной статистической зависимости амплитуд прогнозируемых нарушений от величины критериев разведанности и положения разрывного нарушения в контуре четырехугольного блока сети замеров. Расчет амплитуд производится по каждому четырехугольному блоку сети замеров, который пересекается прогнозным нарушением.

9.2. В случае пересечения разрывным нарушением одной диагонали четырехугольного блока сети замеров, его прогнозная вертикальная амплитуда  $H$  оценивается по формулам:

– при расчете лямбда-критерия:

$$H = |\lambda| (1,86 - 4,17d + 2,7d^2), \quad (13)$$

– при расчете дельта-критерия:

$$H = |\Delta| (1,49 - 3,37d + 2,16d^2), \quad (14)$$

где  $d$  – отношение минимального расстояния от вершины диагонали до точки встречи нарушения  $r$  к общей длине диагонали  $R$ :  $d = \frac{r}{R}$  (рис. 13а).

В случае пересечения разрывным нарушением двух диагоналей четырехугольного блока сети замеров, его прогнозная вертикальная амплитуда  $H$  оценивается по формулам:

– при расчете ламбда-критерия:

$$H = \frac{2,5|\lambda|}{1+|\lambda|} [1,94(d_1 + d_2) + 0,3], \quad (15)$$

– при расчете дельта-критерия:

$$H = \frac{2,0|\Delta|}{1+0,8|\Delta|} [1,94(d_1 + d_2) + 0,3], \quad (16)$$

где  $d_1 = \frac{r_1}{R_1}$ ;  $d_2 = \frac{r_2}{R_2}$  (рис. 13).

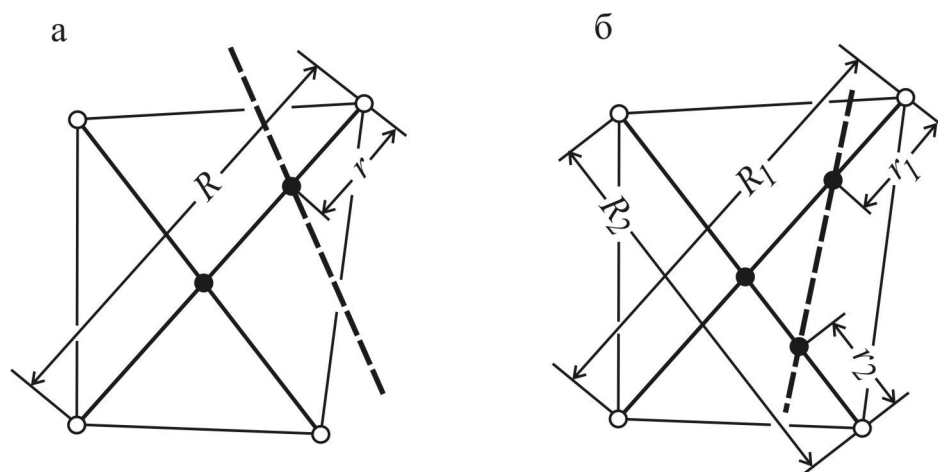


Рис. 13. К методике прогноза вертикальных амплитуд дизъюнктивов

9.3. Используемые в пунктах 9.2 статистические зависимости (13) ÷ (16) могут быть откорректированы по результатам сопоставления фактических и прогнозных амплитуд нарушений для условий конкретных шахт. Корректировка может осуществляться путем установления и использования коэффициента, на который умножается вычисленная по формулам (13) ÷ (16) величина прогнозной амплитуды нарушения.

9.4. В качестве итогового значения прогнозной амплитуды принимается среднеарифметическое значение амплитуд, рассчитанное по всем пересекаемым им четырехугольным блокам сети. При расчете величины средней амплитуды экспертно может учитываться более высокое качество прогноза амплитуды в пределах четырехугольников, в которых нарушение пересекает только одну диагональ.

## **10. Компьютерное обеспечение выполнения горно-геометрического прогнозирования**

10.1. В качестве средства автоматизации выполнения расчетов по горно-геометрическому прогнозированию нарушений в контуре подготовленного выемочного столба может использоваться ориентированная на персональные компьютеры программа «PNM».

10.2. Программа «PNM» обеспечивает выполнение в интерактивном режиме работ по квадриангулированию сети измерений и выбору рационального количества интервалов гистограммы «поправок». В автоматическом режиме программой выполняется расчет критериев разведанности, уравнивание, определение «градиентов» поправок, построение гистограммы поправок, указание аномальных «градиентов» и прогноз вертикальных амплитуд нарушений.

10.3. Лица, осуществляющие горно-геометрическое прогнозирование нарушений в контуре подготовленного выемочного столба с помощью программы «PNM», должны пройти обучение, факт проведения которого должен иметь письменное подтверждение разработчиков компьютерной программы.

## **11. Оформление результатов горно-геометрического прогнозирования**

11.1. Результаты горно-геометрического прогнозирования нарушений в контуре подготовленного выемочного столба оформляются в виде документа «Горно-геометрический прогноз нарушений в контуре выемочного столба [номер лавы] пласта [наименование пласта] поля шахты [наименование шахты]». Означенный документ может представляться как в виде обособленного, так и в виде главы или раздела иного документа.

11.2. Отражающий результаты прогнозирования документ должен состоять из текстовой и графической части.

11.3. Текстовая часть документа должна содержать:

– краткие сведения о выемочном столбе (расположение, геометрические характеристики, наличие выявленных дизъюнктивных и пликативных нарушений – при включении описания результатов прогноза в качестве составной части иного документа, содержащего аналогичные сведения, могут отсутствовать);

– наименование методики, примененные компьютерные программы, сведения о наличии и использовании данных об элементах залегания угольного пласта в точках измерений);

– исходные данные (таблица результатов измерений, выполненных в точках геолого-маркшейдерской сети измерений);

– результаты квадрангулирования сети измерений и расчета критериев разведанности (выделенные четырехугольные блоки (с указанием их сторон на сопровождающих графических материалах), значения критериев разведанности (в табличной форме), оценка погрешности определения прогнозного положения почвы (кровли угольного пласта);

– результаты уравнивания геолого-маркшейдерской сети (значения полученных поправок, указанные в табличной форме или на прилагаемых графических материалах, результаты построения изолиний поправок (в графической форме) с указанием мест неопределенности их положения и порядка ее разрешения);

– результаты прогнозирования нарушений (гистограмма распределения «градиентов» поправок, положение аномальных «градиентов» на плане, положение прогнозных нарушений, результаты оценки их амплитуд, оценка значимости аномалий).

#### 11.4. Графическая часть должна включать в себя:

– масштабированный план выемочного столба с обязательным указанием горных выработок, точек производства геолого-маркшейдерских измерений (с указанием номеров), вскрытых и прогнозируемых иными методами (при наличии) разрывных и пликативных нарушений, контуров четырехугольных оценочных блоков;

– гистограмму «градиентов» поправок;

– результаты прогноза в виде масштабированного плана выемочного столба с обязательным указанием горных выработок, точек производства геолого-маркшейдерских измерений (с указанием номеров и поправок), вскрытых и прогнозируемых иными методами (при наличии) разрывных и пликативных нарушений, изолиний поправок, положений прогнозируемых нарушений и их вертикальных амплитуд.

11.5. Графическая часть документа может быть включена в состав текстовой части. Графическую часть разрешается выполнять в произвольном масштабе на условии размещения на графических документах шкалы-линейки масштаба.

11.6. В случае выполнения прогноза без использования компьютерной программы «PNM» к документу должны прикладываться результаты всех промежуточных расчетов в объеме, обеспечивающем выполнение их проверки без участия исполнителей прогнозирования.

11.7. При использовании компьютерной программы «PNM», промежуточные результаты, автоматически воспроизводимые программой по имеющимся исходным данным и принятой схеме квадриангулирования, к документу не прикладываются.

## Содержание

1. Область и условия применения методики . . . . .	3
2. Основные принципы выполнения горно-геометрического прогнозирования нарушений . . . . .	3
3. Порядок квадриангулирования сети наблюдений . . . . .	11
4. Порядок расчета критериев разведанности по четырехугольным блокам сети измерений . . . . .	13
5. Порядок выполнения уравнивания геолого-маркшейдерской сети измерений . . . . .	15
6. Порядок расчета «градиентов» поправок . . . . .	21
7. Порядок построения гистограммы распределения «градиентов» поправок и определения их аномального уровня . . . . .	22
8. Порядок построения положения прогнозных нарушений . . . . .	25
9. Прогноз ожидаемых вертикальных амплитуд нарушений . . . . .	27
10. Компьютерное обеспечение выполнения горно-геометрического прогнозирования . . . . .	29
11. Оформление результатов горно-геометрического прогнозирования	30

**Краткие сведения о результатах практического применения методики горно-геометрического прогнозирования разрывных нарушений угольных пластов в контуре подготовленного выемочного столба**

Разработка и совершенствование методики горно-геометрического прогнозирования разрывных нарушений угольных пластов в контуре подготовленного выемочного столба выполнялась, начиная с 1987 года. Представленная версия методики содержит решения и подходы по состоянию на 2008 год.

Опытно-промышленное и промышленное применение методики осуществлялось на шахтах Анжерского, Кемеровского, Ленинского, Беловского, Ерунаковского, Байдаевского и Томь-Усинского геолого-промышленных районов Кузнецкого угольного бассейна: «ш/у Анжерское», «Северная», «Конюхтинская», «Егозовская», «Чертинская-Коксовая», «Кыргайская», «Антоновская» и «Томская». Степень подтверждаемости прогноза последующими результатами горных работ составляла от 60 до 95 %, при преимущественном значении в 75 %.