

УДК 622.142.5

В. В. Мирный, А. Н. Корниенко

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина

Автоматизация определения типа разрывного нарушения пласта средствами векторной алгебры на графике изолонг

Разработан метод определения типа разрывного нарушения применительно к пластовым месторождениям на основе аналитического вычисления классифицирующего признака (угла между направлением падения смесителя и вектором условного перемещения висящего крыла пласта). Предложен алгоритм решения задачи, которую легко можно решить, автоматизируя вычисления в программе Microsoft Excel. Отпадает необходимость в громоздких графических построениях при распознавании типа нарушения. Разработанные алгоритмы многократно опробовались на конкретных примерах, всегда давая безошибочные результаты

Ключевые слова: разрывное тектоническое нарушение, геометрическая классификация П.К. Соболевского, крутое падение, классифицирующий угол.

Из исследований горных геометров В. А. Букринского, И. Н. Ушакова, Г. И. Вилесова, В. М. Калинин, Г. И. Герасименко [1–3] и других известно, что изображение поверхностей пластов при построении их в проекции на горизонтальную плоскость становится менее наглядным при залежах крутого падения. При этом доказано [4], что обеспечение удобства работы с графической документацией или точность решения задачи по определению площади участка залежи будут более приемлемыми, если поверхность тела полезного ископаемого при углах его падения более 65° изобразить не в изогипсах (гипсометрический план), а в изолонгах (проекция на вертикальную плоскость, параллельную среднему простиранию тела полезного ископаемого). На этих графиках, как известно, можно решать те же задачи, что и на гипсометрических планах, хотя на последних они решаются проще, привычнее и нагляднее.

Во всех литературных источниках обычно излагается методика построения изолонг и решение на них отдельных практических задач, но нигде не описаны работы, связанные с геометризацией на этих графиках разрывных тектонических нарушений. Между тем, угленосная толща Донбасса (в том числе и ее крутопадающая часть в районе Горловки) осложнена большим количеством дизъюнктивов, и их правильное отображение при ведении горных работ имеет большое значение.

Среди множества классификаций нарушений часто используется геометрическая классификация проф. П. К. Соболевского. Геометрическая модель элементарного разрывного нарушения по П. К. Соболевскому может быть представлена двумя независимыми между собой геометрическими образами: линией скрещения и направлением смещения. Тип нарушения и его название определяются величиной угла β , который отсчитывается в плоскости смесителя от направления его падения против хода часовой стрелки до условного направления перемещения висящего крыла пласта. На схеме (рис. 1) приведены восемь типов смещений по П.К.Соболевскому: $\beta = 0$ – сброс; $0 < \beta < 90$ – сбросо-сдвиг; $\beta = 90$ – сдвиг; $90 < \beta < 180$ – взбросо-сдвиг; $\beta = 180$ – взброс; $180 < \beta < 270$ – взбросо-пересдвиг; $\beta = 270$ – пересдвиг; $270 < \beta < 360$ – сбросо-пересдвиг.

Автор классификации и пользователи приводили терминологию и методику решения задач в проекции только на горизонтальную плоскость, где тип нарушения легко распознается по известной графической методике.

Эта методика совершенно неприемлема для распознавания типа нарушения по графику изолонг. Более того, изображение тектонического нарушения выглядит настолько необычно, что теряется представление о его типизации, хотя понятно, что если нарушение имеет определенное название, то оно должно сохраняться и распознаваться при проектировании на любую плоскость. Поэтому при изображении разрывного тектонического нарушения и поверхности пласта в проекции на вертикальную

плоскость распознавание типа нарушения осуществляется в несколько этапов:

- а) линии скрещения "перестраиваются" в проекции на горизонтальную плоскость;
- б) подбирают нужное количество точек (не менее трех в каждом крыле, не лежащих на одной прямой) висячего и лежащего крыльев пласта, пересчитывают их пространственные координаты и по ним строят гипсометрические планы крыльев,
- в) берут не менее трех точек, не лежащих на одной прямой, принадлежащих сместителю, и аналогично предыдущему пункту по пере вычисленным координатам строят изо гипсы сместителя;
- г) используя принцип геометрической классификации проф. П. К. Соболевского, устанавливают тип нарушения;
- д) переносят полученное название на график изолонг.

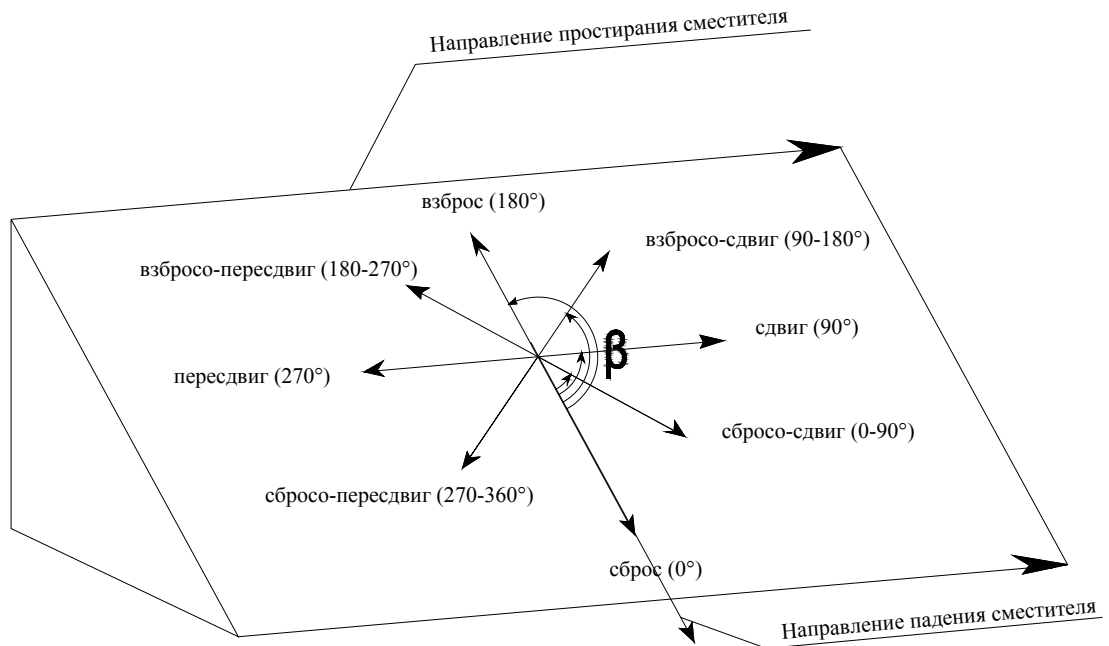


Рис. 1. Классификация разрывных нарушений по профессору П.К.Соболевскому.

Как видно из изложенного, решение выглядит очень громоздким и требует значительных затрат времени. Их можно сократить, если автоматизировать вычислительные и графические процессы каждого из этапов. Однако, громоздкость при этом не исчезает, а алгоритм выглядит довольно сложным. При этом заключительные этапы требуют визуального "вмешательства", что также не обеспечивает желаемой эффективности.

Нами на основе теории векторной алгебры были впервые разработаны принцип и алгоритм вычисления классифицирующего элемента (угла), однозначно определяющего тип нарушения при работе с документацией, составленной в проекции с числовыми отметками при проектировании поверхности залежи на вертикальную плоскость. В настоящее время статья с теоретическим обоснованием вопроса находится в процессе издания, в связи с чем ссылка на нее отсутствует.

Покажем на конкретном примере (рис.2), где пласт и сместитель изображены в проекции на вертикальную плоскость в изолонгах.

На первом этапе на линиях скрещения выбирают три точки, соответствующие следующим требованиям:

- все они должны принадлежать линиям скрещения;
- точка 1 должна находиться на линии скрещения висячего крыла;
- точки 2,3 должны находиться на линии скрещения лежащего крыла;
- точка 2 должна находиться выше по отношению точки 3, т.е. координата Z точки 2 должна быть больше.

Далее вводим условную пространственную систему координат и графически определяем координаты этих трех точек.

Полученные координаты равны: $X_1=53,59$; $Y_1=50$; $Z_1=-124,17$; $X_2=63,87$; $Y_2=50$; $Z_2=-34,08$; $X_3=80,9$; $Y_3=150$; $Z_3=-300,33$.

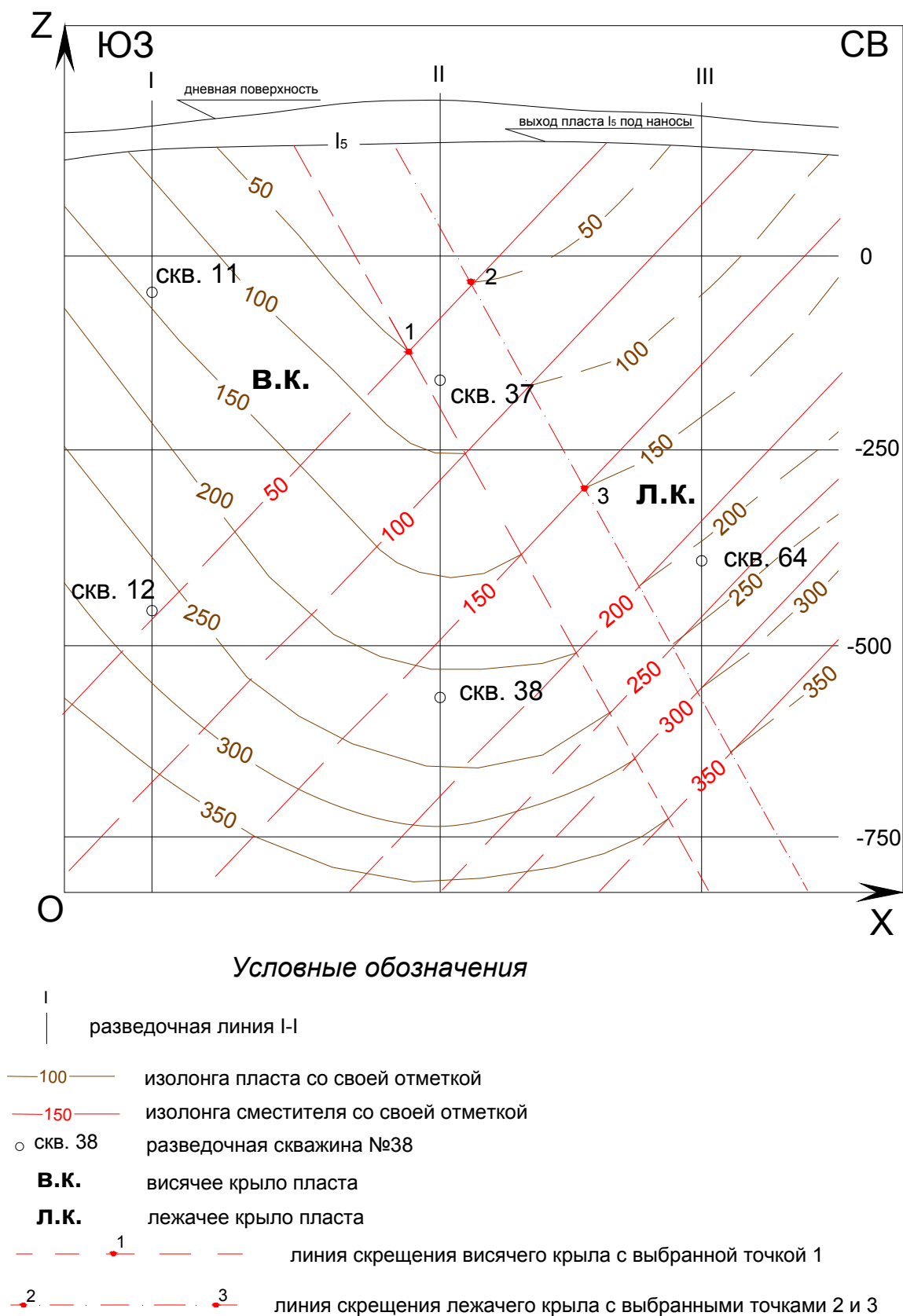


Рис. 2. График изолонг пласта и сместителя

Согласно разработанному алгоритму на первом этапе вычислим координаты вектора $\vec{23}$, который является нормальным к плоскости 2, выражающей направление перемещения плоскост пласт:

$$\begin{aligned}\vec{23} &= \{X_3 - X_2; Y_3 - Y_2; Z_3 - Z_2\}; \\ \vec{23} &= \{17,03; 100; -266,25\}; \\ \vec{23} &= \{A_2; B_2; C_2\};\end{aligned}$$

Таким образом, получен нормальный вектор к плоскости 2, поэтому легко составляется уравнение плоскости 2:

$$17,03x + 100y - 266,25z + D_2 = 0.$$

На втором этапе составляется уравнение плоскости 1 (которая является плоскостью сместителя) по координатам трех точек 1,2,3:

$$\begin{aligned}\begin{vmatrix} X - X_1 & X_2 - X_1 & X_3 - X_1 \\ Y - Y_1 & Y_2 - Y_1 & Y_3 - Y_1 \\ Z - Z_1 & Z_2 - Z_1 & Z_3 - Z_1 \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} X - 53,59 & 10,28 & 27,31 \\ Y - 50 & 0 & 100 \\ Z + 124,17 & 90,09 & -176,16 \end{vmatrix} = (X - 53,59) \cdot \begin{vmatrix} 0 & 100 \\ 90,09 & -176,16 \end{vmatrix} - \\ - (Y - 50) \cdot \begin{vmatrix} 10,28 & 27,31 \\ 90,09 & -176,16 \end{vmatrix} + (Z + 124,17) \cdot \begin{vmatrix} 10,28 & 27,31 \\ 0 & 100 \end{vmatrix} &= (X - 53,59) \cdot (-9009) - \\ - (Y - 50) \cdot (-4271,283) + (Z + 124,17) \cdot (1028) &= -9009 \cdot X + 4271,283 \cdot Y + 1028 \cdot Z + D_1 = 0;\end{aligned}$$

Полученное уравнение плоскости 1 подчеркнуто. Составляется уравнение вектора \vec{n}_1 , нормального к этой плоскости:

$$\begin{aligned}\vec{n}_1 &= \{A_1; B_1; C_1\}; \\ \vec{n}_1 &= \{-9009; 4271,283; 1028\}.\end{aligned}$$

На третьем этапе составляется уравнение плоскости 3, которая перпендикулярна плоскости 1 и является вертикальной, т.е. $C_3=0$. Для этого составим уравнение нормального к ней вектора \vec{n}_3 :

$$\begin{aligned}\vec{n}_3 = \vec{k} \times \vec{n}_1 &= \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & 1 \\ -9009 & 4271,283 & 1028 \end{vmatrix} = \vec{i} \cdot \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 4271,283 & 1028 \end{vmatrix} - \vec{j} \cdot \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -9009 & 1028 \end{vmatrix} + \\ + \vec{k} \cdot \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ -9009 & 4271,283 \end{vmatrix} &= -4271,28 \cdot \vec{i} - 9009 \cdot \vec{j} + 0; \\ \vec{n}_3 &= \{-4271,283; -9009; 0\};\end{aligned}$$

Уравнение плоскости 3 имеет вид:

$$-4271,283 \cdot X - 9009 \cdot Y + D_3 = 0.$$

Изменяем направление вектора \vec{n}_3 на противоположный и получаем его новое значение:

$$\vec{n}_3 = \{4271,283; 9009; 0\};$$

На четвертом этапе определяется угол β между плоскостями 1 и 3, как угол между их нормальными векторами:

$$\cos \beta' = \frac{A_2 \cdot A_3 + B_2 \cdot B_3 + C_2 \cdot C_3}{\sqrt{A_2^2 + B_2^2 + C_2^2} \cdot \sqrt{A_3^2 + B_3^2 + C_3^2}} =$$

$$= \frac{17,03 \cdot (4271,283) + 100 \cdot (9009) + 0}{\sqrt{(17,03)^2 + (100)^2 + (-266,25)^2} \cdot \sqrt{(4271,283)^2 + (9009)^2 + 0}} = 0,342744228;$$

$$\beta' = 69^\circ 57'.$$

Как видим, полученный угол между плоскостями равен $69^\circ 57'$, а \cos угла положительный. Это, в соответствии с алгоритмом, свидетельствует, что сместитель относится к сбросовому типу.

Теперь более точно определяется тип нарушения. Вычисляем табличное значение дирекционного угла вектора перемещения пласта:

$$\operatorname{tg} \alpha'_{\text{перемещ}} = \frac{B_2}{A_2};$$

$$\operatorname{tg} \alpha'_{\text{перемещ}} = \frac{100}{17,03} = 5,871990;$$

$$\alpha'_{\text{перемещ}} = 80^\circ 20'.$$

Согласно табличной величине дирекционного угла:

$$\alpha'_{\text{перемещ}} = \alpha_{\text{перемещ}} = 80^\circ 20'.$$

Вычисляем табличное значение дирекционного угла вектора падения пласта:

$$\operatorname{tg} \alpha'_{\text{пад}} = \frac{B_3}{A_3};$$

$$\operatorname{tg} \alpha'_{\text{пад}} = \frac{9009}{4271,2827} = 2,1092024;$$

$$\alpha'_{\text{пад}} = 64^\circ 38'.$$

Согласно табличному значению дирекционного угла:

$$\alpha'_{\text{пад}} = \alpha_{\text{пад}} = 64^\circ 38'.$$

Классифицирующий угол β вычисляется по формуле:

$$\beta = \alpha_{\text{пад}} - \alpha_{\text{перемещ}} + 360^\circ;$$

$$\beta = 64^\circ 38' - 80^\circ 20' + 360^\circ = 344^\circ 18'.$$

Согласно классификации разрывных нарушений проф. П.К. Соболевского перед нами сбросо-пересдвиг.

Из изложенного видно, что ручной подсчет достаточно громоздкий, занимает много времени для вычислений, и при его реализации в ручном режиме могут быть допущены ошибки. Поэтому целесообразно автоматизировать вычислительный процесс. Это было сделано в программе Microsoft Excel. При подстановке в программу координат трех точек получаем результат (рис. 3).

Как видим, программа выдала числовое значение угла $344,29$ и обозначила тип нарушения как сбросо-пересдвиг, что показывает идентичный с ручным подсчетом результат.

Описанный алгоритм вычисления угла был опробован много раз на конкретных примерах при различных типах тектонических нарушений. Во всех случаях были получены ожидаемые результаты, что свидетельствует о правильности работы алгоритма.

По результатам выполненных исследований могут быть сделаны следующие выводы.

Впервые полученный авторами принцип распознавания типа разрывного тектонического нарушения позволяет однозначно и надежно установить его тип по классификации проф. П.К.Соболевского.

Разработанная методика применима при изображении как на горизонтальную, так и на вертикальную плоскости.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
55		β' (градусы)	69,95584426			$\sqrt{2+G51^2}$ *(КОРЕНЬ (C51^2+E51^2))				
56										
57										
58										
59		Вычисление табличного значения дирекционного угла вектора перемещения пласта: $\text{tg}\alpha'_{\text{перем}}=B2/A2$		Вычисление табличного значения дирекционного угла вектора падения сместителя: $\text{tg}\alpha'_{\text{пад}}=B3/A3$		=ЕСЛИ(И(B51>0;D51>0);C72; ЕСЛИ(И(B51<0;D51>0);180-C72;ЕСЛИ(И(B51<0;D51<0);180+C72;ЕСЛИ(И(B51>0;D51<0);360-C72))))				
60		5,871990605		2,109202465		=ЕСЛИ(И(C51>0;E51>0);F72; ЕСЛИ(И(C51<0;E51>0);180-F72;ЕСЛИ(И(C51<0;E51<0);180+F72;ЕСЛИ(И(C51>0;E51<0);360-F72))))				
61		$\alpha'_{\text{перем}}$ (радианы)	1,402114611	$\alpha'_{\text{пад}}$ (радианы)	1,12807207					
62		$\alpha'_{\text{перем}}$ (градусы)	80,33524958	$\alpha'_{\text{пад}}$ (градусы)	64,6337686					
63			80,33524958		64,6337686					
64		$\alpha_{\text{перем}}$	80,33524958	$\alpha_{\text{пад}}$	64,6337686	=ЕСЛИ(B79>0;B79;ЕСЛИ(B79<0;B79+360))				
65										
66		Определение классифицирующего угла: $\beta=\alpha_{\text{пад}}-\alpha_{\text{перем}}+360^\circ$				=ЕСЛИ(И(B80>0;B80<90);"сбрососдвиг";ЕСЛИ(И(B80>90;B80<180);"взбрососдвиг";ЕСЛИ(И(B80>180;B80<270);"взбросопересдвиг";ЕСЛИ(И(B80>270;B80<360);"сбросопересдвиг"))))				
67			-15,70148093							
68			344,2985191							
69		Тип нарушения								
70		сбросопересдвиг								
71										
72										
73										
74										
75										
76										
77										
78										
79										
80										
81										
82										
83										
84										
85										

Рис. 3. Программное решение задачи

Автоматизация вычислительного процесса с помощью программы Microsoft Excel позволяет решить задачу практически без затрат времени (время требуется только для получения координат трех точек по графическому документу).

Программа может быть полезна специалистам, занимающимся структурной геологией, геологам и маркшейдерам при установлении типов впервые встреченных нарушений, а также студентам, изучающим горногеометрические дисциплины.

Библиографический список

1. Букринский В.А. Геометрия недр: учебник для вузов / В.А. Букринский. - [2-е изд., перераб. и доп.]. - М.: Недра, 1985. - 394 с.
2. Ушаков И.Н. Горная геометрия: учебник для вузов / И.Н. Ушаков. - [4-е изд., перераб. и доп.]. - М.: Недра, 1979. - 440 с.
3. Геометрия недр (горная геометрия): учебник для вузов / В.М. Калинин, Н.И. Стенин, И.И. Тупикин, И.Н. Ушаков. - Новочеркасск: НОК, 2000. - 526 с.
4. Герасименко Г.И. Геологическая документация и геометризация при разведке и разработке угольных месторождений / Г.И. Герасименко. - М.: Углетехиздат, 1958. - 171 с.

Надійшла до редакції 24.04.2012

В. В. Мирний, О. М. Корнієнко

ДВНЗ Донецький національний технічний університет, Донецьк, Україна

Розпізнання типу розривного порушення за класифікацією проф. П.К. Соболевського способом векторної алгебри

Розроблено спосіб визначення типу розривного порушення стосовно до пластових родовищ на основі аналітичного обчислення класифікуючої ознаки (кута між напрямками падіння змішувача і вектором умовного переміщення висячого крила пласта). Запропоновано алгоритм рішення задачі, яку неважко розв'язати за допомогою автоматизації обчислень в програмі Microsoft Excel. Відпадає потреба в громіздких графічних побудовах при розпізнанні типу порушення. Розроблені алгоритми багаторазово випробувались на конкретних прикладах, завжди даючи безпомилкові результати

Ключові слова: розривне тектонічне порушення, геометрична класифікація П.К.Соболевського, круте падіння, класифікуючий кут.

V. Myrnyy, A. Korniyenko

Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

Defining the Type of a Disjunctive Fault according to Prof. P.K. Sobolevsky's Classification by Means of Vector Algebra.

We developed a method of defining the type of a disjunctive fault in bedded deposits on the basis of analytical calculations of the classifying feature (the angle between the mixer's incidence direction and the vector of the conditional shift of the hanging wing of a seam). We propose a simple algorithm to solve the problem using Microsoft Excel. Thus there is no longer the necessity of massive graphic plotting for identifying the type of a disjunctive fault. The developed algorithms have been repeatedly applied for particular cases and provided the high accuracy of results.

Key words: disjunctive tectonic faults, geometrical classification by P.K.Sobolevsky, high dip, classifying angle.