

ЗАСТОСУВАННЯ ВЕКТОРНОЇ АЛГЕБРИ ПРИ ГЕОМЕТРИЗАЦІЇ РОЗРИВНИХ ПОРУШЕНЬ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ ДОНБАСУ

М.Е. Гордієнко, Донбаська паливно-енергетична компанія, Україна

В.В. Мирний, Державний ВНЗ «Донецький національний технічний університет», Україна

О.М. Корнієнко, ПСП шахтоуправління «Білозерське» шахта «Піонер» ТОВ «ДТЕК Добро-піллявугілля», Україна

Проведено аналіз термінології тектонічних порушень в класифікації проф. П.К. Соболевського. При досить громіздкій роботі щодо визначення типу порушення обгрунтовано можливість «математизувати» процес його розпізнання. Застосувавши прийоми векторної алгебри, доведена доцільність аналітичного рішення задачі. Розроблено методику, за допомогою якої розпізнання типу порушення виконується автоматизовано на ЕОМ. Вказано на можливість застосування методики для рішення інших задач геометризації родовищ корисних копалин.

Розривні порушення (зміщення) пластових та жилових родовищ, як відомо, різноманітні за формою, величиною та багатьма іншими показниками, що привело до необхідності їх систематизації і класифікації в процесі вивчення. В основу кожної класифікації покладено характерну (класифікуючу) ознаку або принцип, які дають можливість розміщувати, розглядати та розпізнавати [1, 2, 3] форми зміщень у визначеному порядку. Просторова закономірність може бути визначена і виражена трьома способами: аналітично у вигляді явної (неявної) функціональної залежності, таблично та геометрично. При цьому просторове розміщення класифікуючого показника може бути змодельовано тим чи іншим способом і дає можливість стверджувати, що закономірність виявлена і представлена математичним виразом або зображена на площині креслення геометрично з визначеним ступенем точності.

Велика кількість класифікацій розривних тектонічних порушень включає в себе генетичні та геометричні. Перші з них враховують ознаки, пов'язані з періодом їх утворення, походженням, геологічними особливостями і ін. В основі геометричних класифікацій лежить взаємне розміщення зміщувача і розірваних (зміщених одна відносно іншої) частин товщі порід.

З геометричних найбільш простою і зручною для користування вважається класифікація проф. П.К. Соболевського. Геометрична модель елементарного розривного порушення за П.К. Соболевським може бути представлена двома незалежними між собою геометричними образами: схрещенням і зміщенням.

Модель розривного порушення і його назва залежить від величини кута β (класифікуючого показника), який відраховується в площині зміщувача від напрямку його падіння проти ходу годинникової стрілки до умовного напрямку переміщення висячого крила пласта (рис. 1).

Як правило, кут β відраховують на плані тектонічного порушення, зображеного в проекції з числовими відмітками. Незначні розбіжності кута при вимірюванні його в площині зміщувача і в проекції на горизонтальну площину не відіграють ролі у визначенні назви тектонічного порушення. При цьому повинні виконуватись три умови: а) вважається, що перемістилось висяче крило пласта, а лежаче залишилось нерухомим; б) напрям умовного переміщення його на плані відбувається від лінії схрещення лежачого крила до лінії схрещення висячого крила; в) положення лінії переміщення зображують на плані перпендикулярно до ліній схрещення.

Отже, приступаючи до задачі визначення типу тектонічного порушення згідно з класифікацією, необхідно розпізнати положення лежачого і висячого крил пласта.

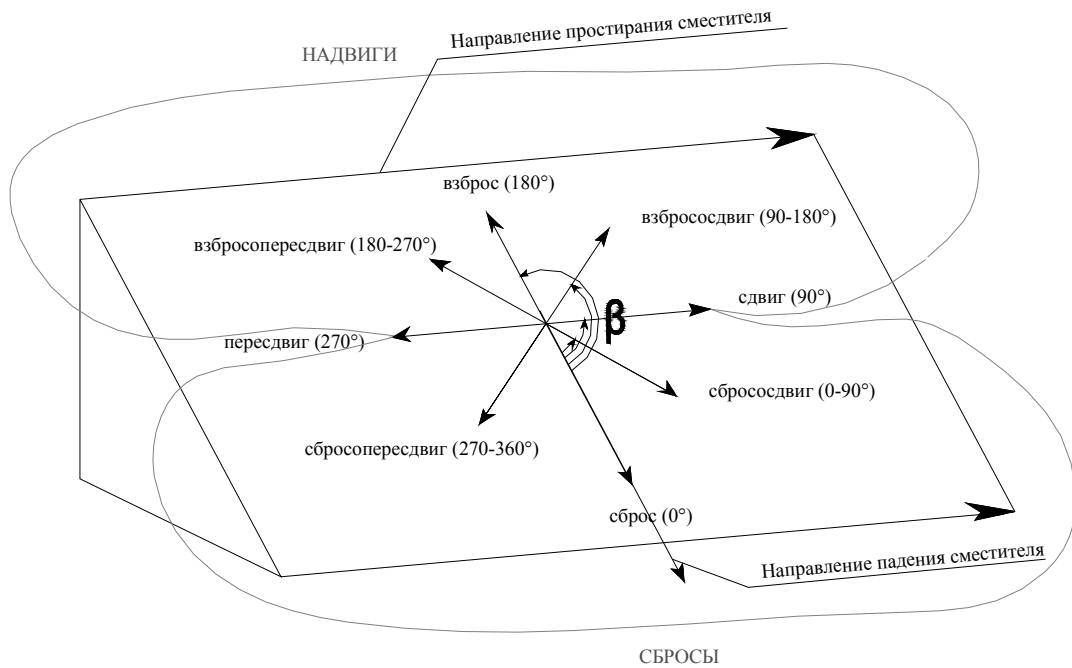


Рис. 1. Схема класифікації розривних порушень за проф. П.К. Соболевським

На рисунку схематично в аксонометричній проекції наведено вісім типів зміщень у відповідності з кутом β , з яких 4 типи є граничні: скид ($\beta=0^\circ$), зсув ($\beta=90^\circ$), підкид ($\beta=180^\circ$), пере-зсув ($\beta=270^\circ$), та 4 типи – проміжні: скидо-зсув ($0^\circ < \beta < 90^\circ$), підкидо-зсув ($90^\circ < \beta < 180^\circ$), підкидо-перезсув ($180^\circ < \beta < 270^\circ$), скидо-перезсув ($270^\circ < \beta < 360^\circ$). Взагалі маркшейдерсько-геологічною службою Донбасу введено спрощені назви, які об'єднують типи порушень скидового та підскидового характеру в окремі групи, присвоївши їм відповідно назви: «скиди» і «насуви» (рис. 1), що й спостерігається на гіпсометричних планах вугільних пластів донбаських шахт.

Розглянемо конкретний приклад розривного порушення в проекції з числовими відмітками (позначками). Введемо умовну систему прямокутних просторових координат XYZ. За даними розвідувальних робіт отримано графічне зображення в ізолініях зміщувача і висячого та лежачого крил пласта, які скорочено позначені в. к. і л. к. (рис. 2).

Як видно з графічного зображення, на кресленні представлено перезсув ($\beta=270^\circ$). Для рішення задачі щодо розпізнання типу тектонічного порушення, тобто для визначення величини класифікуючого кута вводимо умовну систему координат так, щоб вісь X була спрямована паралельно середньому простяганню пласта. Виконаємо математичне описання математично описати всіх елементів, які складають цей кут. Оскільки шуканий кут лежить в площині зміщувача, виразимо аналітично площину.

Для цього беремо три точки M_1, M_2, M_3 , які належать лініям схрещення. При цьому точка M_1 повинна знаходитись на лінії схрещення висячого крила, а M_2 та M_3 - на лінії схрещення лежачого крила. Щоб виразити лінію переміщення пласта, спрямовану від лежачого до висячого крила перпендикулярно до ліній схрещення побудуємо через неї площину, перпендикулярну площині зміщувача. Для аналітичного відображення лінії падіння площини зміщувача через неї проводимо вертикальну площину так, щоб вона була перпендикулярна площині зміщувача. Сама площина зміщувача виражається, як площина, що проходить через три взяті раніше точки. Шуканий кут – це кут між побудованими спочатку площинами, який лежить в площині, проведеній через взяті початкові точки M_1, M_2, M_3 . Геометричну модель визначення класифікуючого кута наочно представлено на рис. 3.

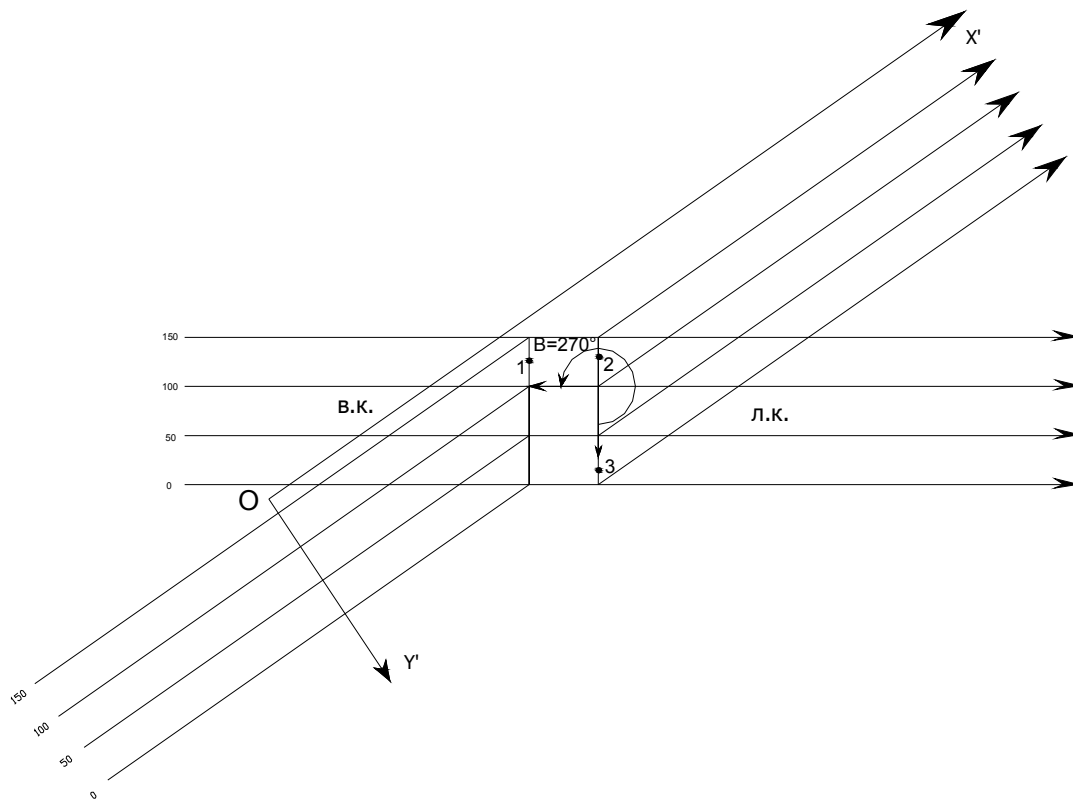


Рис. 2. Перезсув в проекції з числовими позначками

Для практичного виконання роботи на кресленні (на лініях схрещення, як було викладено вище) намічають три точки і графічно визначають їх координати $M_1 (X_1, Y_1, Z_1)$; $M (X_2, Y_2, Z_2)$; $M (X_3, Y_3, Z_3)$.

Уявимо процес одержання рівняння площини, яка проходить через ці три точки. Нехай точка $M (X, Y, Z)$ – довільна точка шуканої площини. Запишемо вектори (1). Очевидно, що вони лежать в одній площині, тобто вони компланарні. Тому визначальник, складений з компонент цих векторів, повинен дорівнювати нулю (2):

$$\overrightarrow{M_1M} = \{X - X_1; Y - Y_1; Z - Z_1\};$$

$$\overrightarrow{M_1M_2} = \{X_2 - X_1; Y_2 - Y_1; Z_2 - Z_1\}; \quad (1)$$

$$\begin{vmatrix} X - X_1 & X_2 - X_1 & X_3 - X_1 \\ Y - Y_1 & Y_2 - Y_1 & Y_3 - Y_1 \\ Z - Z_1 & Z_2 - Z_1 & Z_3 - Z_1 \end{vmatrix} = 0; \quad (2)$$

$$\overrightarrow{M_1M_3} = \{X_3 - X_1; Y_3 - Y_1; Z_3 - Z_1\};$$

Розкривши цей визначальник та зібравши доданки з поточними координатами, отримують рівняння шуканої площини, яка проходить через три початково вибрані точки:

$$\begin{vmatrix} X-X_1 & X_2-X_1 & X_3-X_1 \\ Y-Y_1 & Y_2-Y_1 & Y_3-Y_1 \\ Z-Z_1 & Z_2-Z_1 & Z_3-Z_1 \end{vmatrix} = (X-X_1) \cdot ((Y_2-Y_1) \cdot (Z_3-Z_1) - (Y_3-Y_1) \cdot (Z_2-Z_1)) - \\ - (Y-Y_1) \cdot ((X_2-X_1) \cdot (Z_3-Z_1) - (X_3-X_1) \cdot (Z_2-Z_1)) + \\ + (Z-Z_1) \cdot ((X_2-X_1) \cdot (Y_3-Y_1) - (X_3-X_1) \cdot (Y_2-Y_1)) = 0;$$

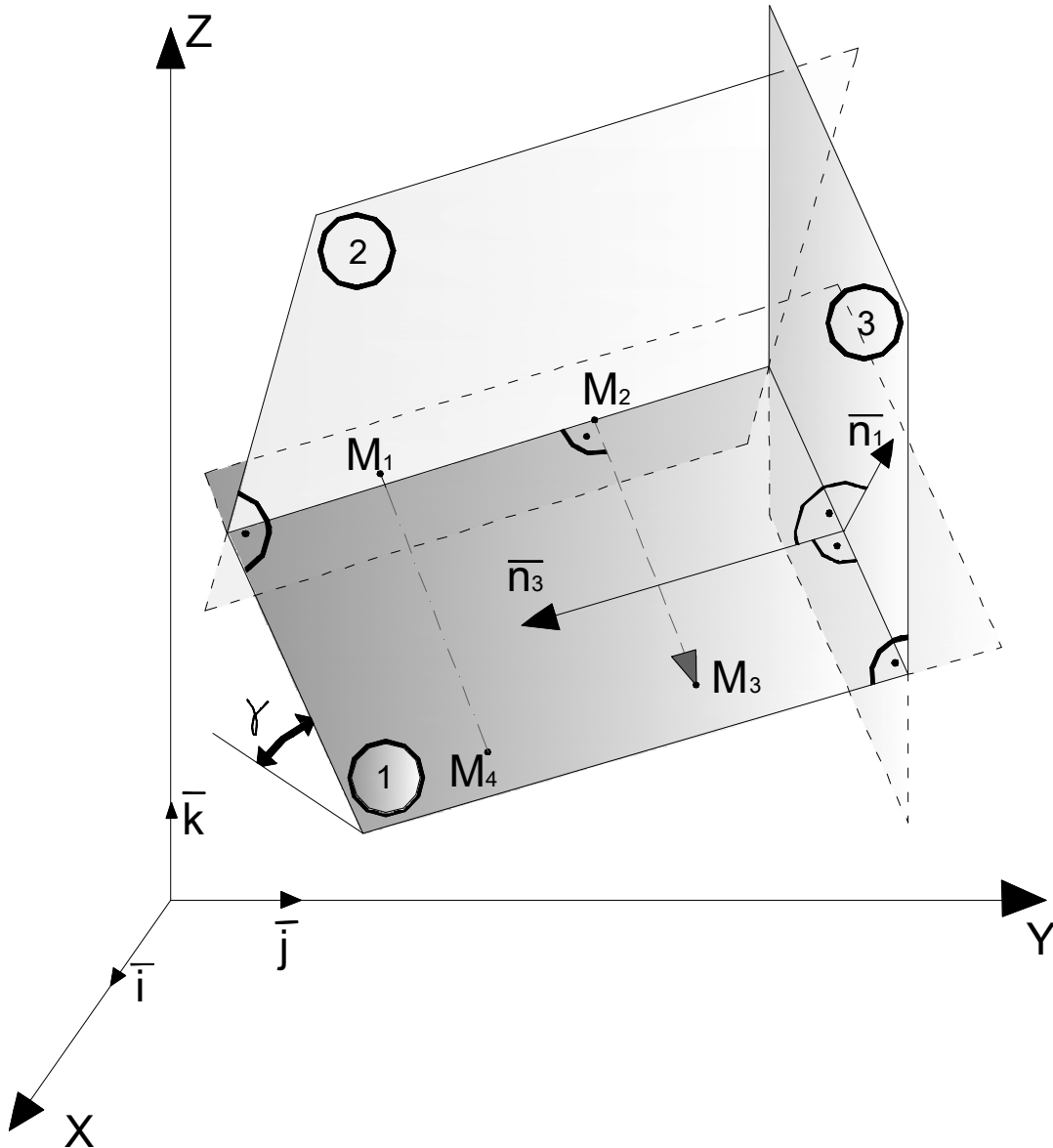


Рис. 3. Моделювання елементів класифікуючого кута

Графічне представлення цього рішення показано на рис. 4.

Для вираження *напрямку переміщення пласта* необхідно по напрямку переміщення побудувати площину, перпендикулярну площині, побудованій через три точки. Для цього побудуємо через точки M_2 і M_3 вектор $\overline{M_2M_3}$, який характеризує лінію схрещення лежачого крила пласта, а потім через точку M_2 побудуємо площину, перпендикулярну вектору $\overline{M_2M_3}$. Всі побудови наведено на рис. 5.

В тримірному просторі дано точку $M_3 (X_3, Y_3, Z_3)$ і вектор $\overline{M_2M_3}$.

$$\overrightarrow{M_2M_3} = \{X_3 - X_2; Y_3 - Y_2; Z_3 - Z_2\}; \quad (3)$$

Візьмемо довільну точку в просторі $M(X; Y; Z)$, яка лежить на шуканій площині, та побудуємо вектор $\overrightarrow{M_2M}$.

$$\overrightarrow{M_2M} = \{X - X_2; Y - Y_2; Z - Z_2\}; \quad (4)$$

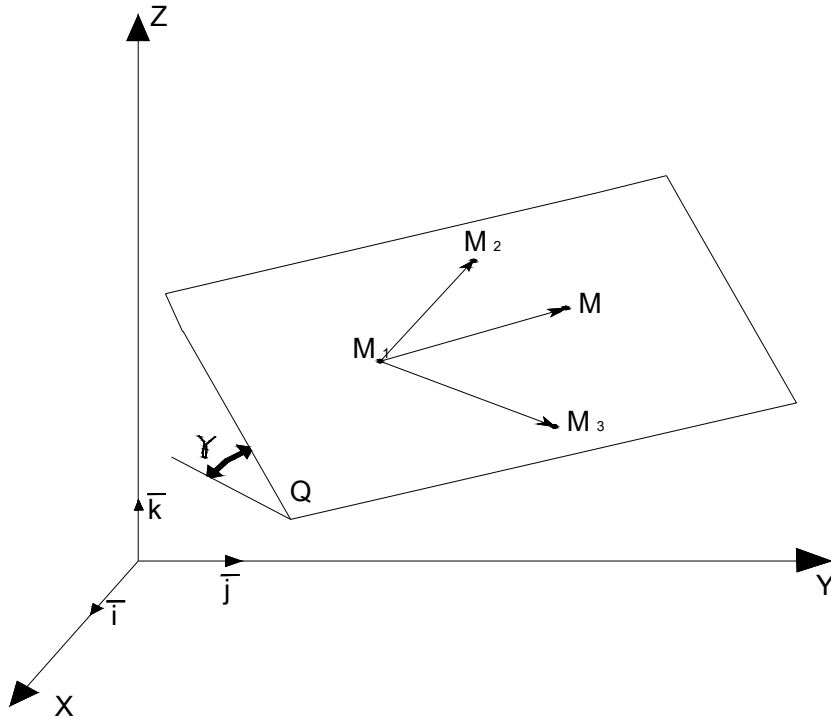


Рис. 4. Графічне представлення площини, яка проходить через три точки

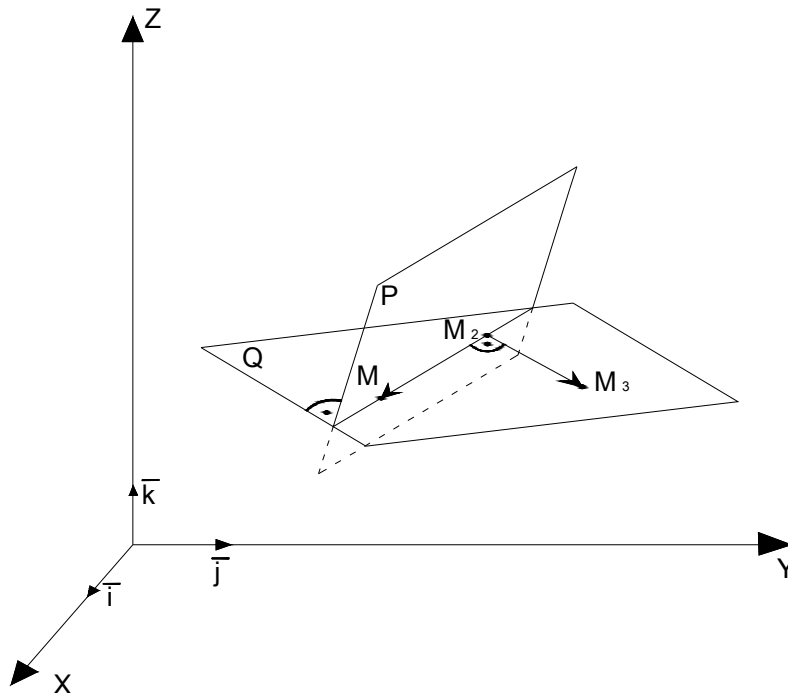


Рис. 5. Представлення площини, яка проходить через лінію переміщення листа

Оскільки цей вектор лежить в шуканій площині, то вектори $\overline{M_2M_3}$ і $\overline{M_2M}$ перпендикулярні. Отже їх скалярний добуток дорівнює нулю.

$$(X_3 - X_2) \cdot (X - X_2) + (Y_3 - Y_2) \cdot (Y - Y_2) + (Z_3 - Z_2) \cdot (Z - Z_2) = 0; \quad (5)$$

Отримане рівняння описує потрібну нам площину. Розкриємо дужки в лівій частині цього рівняння і зберемо доданки з поточними координатами X, Y, Z.

$$(X_3 - X_2) \cdot X + (Y_3 - Y_2) \cdot Y + (Z_3 - Z_2) \cdot Z + (-(X_3 - X_2) \cdot X_2 - (Y_3 - Y_2) \cdot Y_2 - (Z_3 - Z_2) \cdot Z_2) = 0;$$

Порівнявши одержаний вираз з лівою частиною загального рівняння площини, знаходимо, що:

$$A = (X_3 - X_2); \quad B = (Y_3 - Y_2); \quad C = (Z_3 - Z_2); \quad (6)$$

$$D = (-(X_3 - X_2) \cdot X_2 - (Y_3 - Y_2) \cdot Y_2 - (Z_3 - Z_2) \cdot Z_2).$$

Таким чином, параметри A, B, C в загальному рівнянні площини являють собою координати вектора, перпендикулярного до даної площини.

Щоб отримати вираз для **лінії падіння змішувача**, необхідно побудувати площину, паралельну вісі Oz і перпендикулярну площині, побудованій через точки $M_1 (X_1; Y_1; Z_1)$, $M_2 (X_2; Y_2; Z_2)$ та $M_3 (X_3; Y_3; Z_3)$. Для цього необхідно скласти нормальний вектор для цієї площини. Оскільки шукана площина перпендикулярна побудованій площині, що проходить через три точки, то їх нормальні вектори також перпендикулярні. Шукана площина повинна бути вертикальною, а значить її нормальний вектор перпендикулярний одиничному векторові \vec{k} . Таким чином, є відомими рівняння двох векторів, які перпендикулярні шуканому вектору, що дає можливість скласти його рівняння. Графічне представлення вищесказаного дано на рис. 6.

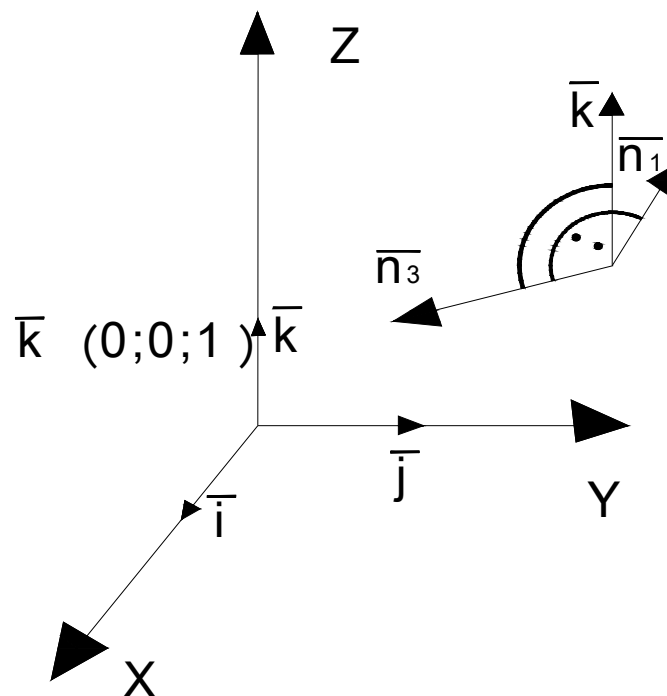


Рис. 6. Представлення нормального вектора до площини, спрямованої по падінню змішувача

Якщо нормальний вектор до площини, яка проходить через три точки, позначити як $\vec{n}_1 = \{A_1; B_1; C_1\}$, а одиничний вектор як $\vec{k} = \{0; 0; 1\}$, то нормальний вектор до шуканої площини дорівнює векторному добутку цих двох векторів:

$$\begin{aligned} \vec{n} = \vec{n}_1 \times \vec{k} &= \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 0 & 1 \\ A_1 & B_1 & C_1 \end{vmatrix} = \vec{i} \cdot \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ B_1 & C_1 \end{vmatrix} - \vec{j} \cdot \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ A_1 & C_1 \end{vmatrix} + \vec{k} \cdot \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ A_1 & B_1 \end{vmatrix} = \vec{i} \cdot (-B_1) - \vec{j} \cdot (-A_1) + 0 = \\ &= -\vec{i} \cdot B_1 + \vec{j} \cdot A_1; \\ \vec{n} &= \{-B_1; A_1; 0\}; \end{aligned} \quad (7)$$

Рівняння площини, яка перпендикулярна вектору \vec{n} та проходить через точку M_2 має вираз:

$$-B_1 \cdot (X - X_2) + A_1 \cdot (Y - Y_2) = 0. \quad (8)$$

Для визначення кута між площинами можна використати формулу косинуса кута:

$$\cos \varphi = \frac{A_1 \cdot A_2 + B_1 \cdot B_2 + C_1 \cdot C_2}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2} \cdot \sqrt{A_2^2 + B_2^2 + C_2^2}}; \quad (9)$$

де A_1, B_1, C_1 та A_2, B_2, C_2 – коефіцієнти в рівняннях першої і другої площин відповідно.

Примітка 1.

У формулу косинуса кута можна підставляти не тільки коефіцієнти площин, але й координати їх нормальних векторів. Від цього значення кута не зміниться.

Примітка 2.

Точки M_1, M_2, M_3 необхідно вибирати так:

- всі вони повинні належати до ліній схрещення;
- точка 1 повинна знаходитись на лінії схрещення висячого крила;
- точки 2, 3 повинні знаходитись на лінії схрещення лежачого крила;
- точка 2 повинна знаходитись вище відносно точки 3, тобто координата Z точки 2 (її висотна відмітка) повинна бути більшою.

Тепер слід розібратись, який кут φ було одержано і чи може цей кут вказувати на тип порушення. Кут β , який в дійсності визначає тип порушення, змінюється в межах від 0° до 360° . Використана формула косинуса визначає кут в межах від 0° до 180° . Таким чином, за отриманим значенням кута можна робити висновок щодо приналежності порушення до підвидового чи скидового типу. Якщо отримуємо значення $\cos \varphi$ додатним, то досліджуване порушення належить до скидового типу, а якщо – від'ємним, то порушення належить до насувового типу. Таким чином, поставлена задача розв'язується для вугільних родовищ Донбасу, де порушенню присвоюється узагальнене найменування «скид» чи «насув».

Щоб остаточно встановити тип порушення за класифікацією П.К. Соболевського, треба скористатись дирекційними кутами. У векторів падіння та переміщення є власні координати, тому можна обчислити їх дирекційні кути в умовній системі координат, яку було введено на початку і в якій виконуються всі розглянуті раніше побудови та обчислення. Різниця дирекційних кутів векторів падіння і переміщення «дає» кут, за яким можна класифікувати порушення. Представлення кожного типу порушення за різницею дирекційних кутів показано на рис. 7: а), б), в), г).

Відомо, що дирекційний кут лінії обчислюється за формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\kappa-n}^T = \frac{Y_{\kappa} - Y_n}{X_{\kappa} - X_n} = \frac{\Delta Y_{\kappa-n}}{\Delta X_{\kappa-n}}; \quad (10)$$

де X_n, Y_n – координати початкового пункту;

X_{κ}, Y_{κ} – координати кінцевого пункту;

$\operatorname{tg} \alpha_{\kappa-n}^T$ – табличне значення тангенсу дирекційного кута,

$\Delta X_{\kappa-n}, \Delta Y_{\kappa-n}$ – прирощення координат, які по суті і є координатами вектора.

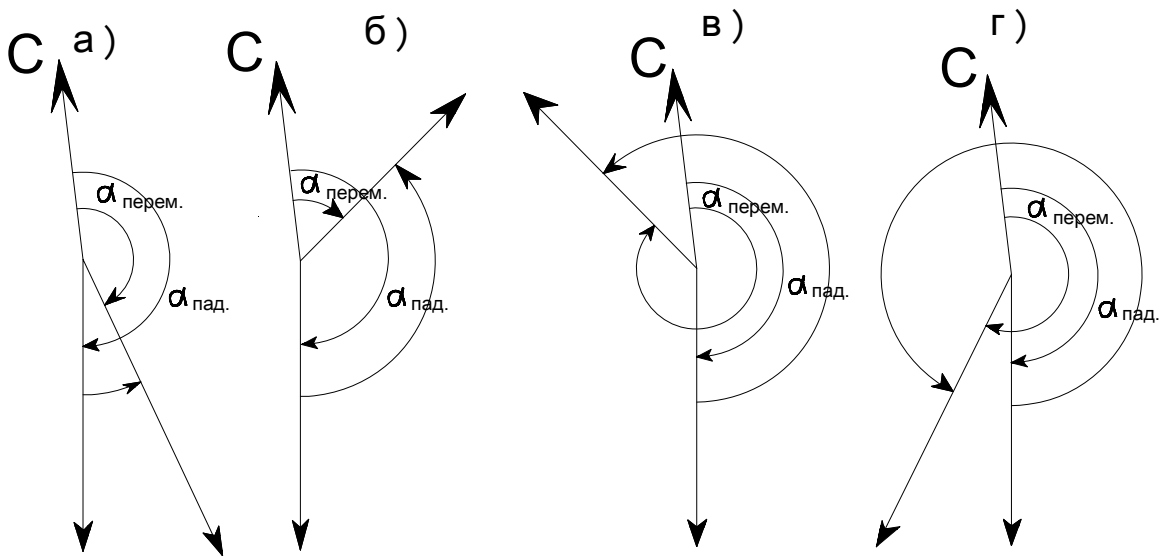


Рис. 7 Схематичні зображення скидо-зсува а), підкидо-зсува б), підкидо-перезсува в), скидо-перезсува г) у відповідності з дирекційними кутами напрямів переміщень і падінь.

Підставляючи у вищенаведену формулу координати кожного вектора, обчислюють табличні значення дирекційних кутів векторів падіння та переміщення; за знаками прирощень визначають чверті дирекційних кутів.

Виходячи з рис. 7, досить просто виводяться формули класифікуючого тектонічного порушення кута за дирекційними кутами падінь та переміщень:

$$\beta = \alpha_{\text{пад.}} - \alpha_{\text{перем.}} + 360^\circ. \quad (11)$$

$$\alpha_{\text{пад.}}^T = \frac{B_3}{A_3}; \quad \alpha_{\text{перем.}}^T = \frac{B_2}{A_2}. \quad (12)$$

Значення A_i і B_i у вищенаведеній формулі беруть з коефіцієнтів площин, обчислених раніше.

Описані алгоритми обчислень класифікуючого кута пройшли апробацію на численних конкретних прикладах. В усіх випадках безпомилково отримувались очікувані результати, що вказує на правильність роботи алгоритма.

Всі виконані дії без особливих утруднень можна автоматизувати в програмі Microsoft Excel. Алгоритм визначення типу порушення може бути використаним при його зображенні не тільки при горизонтальній, але й при вертикальній площині проєкцій (хоча в цьому випадку більш складним є принцип розпізнання порушення в проєкції з числовими позначками) [4, 5].

На основі викладеного можна зробити такі висновки.

Вперше в гірничо-геометричній практиці засобами векторної алгебри виконано моделювання схеми розпізнання розривних тектонічних порушень стосовно до пластового типу родовищ корисних копалин.

Розроблені алгоритми рішень дають можливість досить просто розпізнавати та ідентифікувати тип зміщення у відповідності з класифікацією П.К. Соболевського.

За результатами виконаних досліджень легко складається програма рішення задачі за допомогою засобів ЕОМ, що дозволяє продуктивно і точно розпізнавати диз'юнктиви при геометризації тектонічно порушених пластових родовищ.

Список літератури

1. П.А.Рыжов, Геометрия недр, - М.: Недра, 1964.
2. В.А.Букринский, Геометрия недр, - М.: Недра, 1985.
3. В.М.Калинченко, Н.И.Стенин, И.И.Тупикин, И.Н.Ушаков, Геометрия недр (горная геометрия), - Новочеркасск.: ООО НПП НОК, 2000, - 526 с.
4. Г.И.Герасименко, Геологическая документация и геометризация при разведке и разработке угольных месторождений, - М.: Углетехиздат, 1958. – 171 с.
5. В.В.Мирный, А.Н.Корниенко, Автоматизация определения типа разрывного нарушения пласта средствами векторной алгебры на графике изолонг – Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Випуск № 9 (частина 1) / Під заг. ред. чл.-кор.НАН України А.В.Анциферова. – Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2011. – 282-291 с.

ОБОСНОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РАЗДЕЛЬНОГО СПОСОБА УРАВНИВАНИЯ ХОДОВ ПОДЗЕМНЫХ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ПЛАНОВЫХ СЕТЕЙ

*Ю.И. Вронский, С.Д. Головкин, В.И. Диковенко, А.В. Третьяк,
Национальный горный университет, Украина*

В статье рассмотрены вопросы уравнивания подземных маркшейдерских опорных плановых сетей. Рассмотрены разные способы уравнивания на примере фактически выполненного подземного полигонометрического хода. Предлагается способ уравнивания, который заключается в раздельном уравнивании углов и приращений координат, но при этом поправки в угловые измерения вычисляются прямо пропорционально вычисленной теоретически возможной погрешности измерения угла и обратно пропорционально сумме теоретически возможных погрешностей всех углов хода.

Угольные шахты Украины ведут отработку своих шахтных полей длительное время. Вследствие этого суммарная протяженность горных выработок каждой шахты достигает многих десятков километров. Строительство каждой выработки обеспечивается маркшейдерской службой путём увеличения длины полигонометрических ходов подземной маркшейдерской сети. Это является выполнением требований “Инструкции...” [1], где предусматривается не допускать отставания пунктов подземной маркшейдерской опорной сети от забоев выработок более, чем на 500 м. Совместное влияние этих факторов приводит к постоянному увеличению длины как отдельных подземных полигонометрических ходов, так и всей подземной маркшейдерской опорной сети. Кроме этого, в последние годы активно внедряются в производство более производительные технологии добычи угля. Обеспечивается это, в том числе, увеличением длины лавы и длины выемочных столбов. Строительство подготовительных выработок при оконтуривании таких выемочных столбов ставит перед маркшейдерской службой задачу повышения точности выполняемых работ для обеспечения сбойки встречных забоев. В таких условиях очевидна недостаточная точность подземной маркшейдерской опорной сети, характеризующаяся относительной погрешностью 1:3000. Поэтому при решении задачи обеспечения необходимой точности сбойки, точность отдельных подземных полигонометрических ходов значительно повышается. Достигается это, в первую очередь, путём изменения методики выполнения полевых работ. Однако, ещё одним