

Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський, В.Г. Лозинський, П.Б. Саїк

## АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНОСТІ МАСИВУ В ЗОНІ ВПЛИВУ ДИЗ'ЮНКТИВНОГО ПОРУШЕННЯ

*За результатами аналітичних досліджень отримано залежності зміни вертикальної складової напружень у висячому та лежачому боках геологічного порушення. Методом інтерполяції даних отримана 3-D ґрид-візуалізація вертикальних напружень у просторі. На основі проведених досліджень сформульовано висновки щодо використання запропонованого методу.*

---

### АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ МАССИВА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ДИЗ'ЮНКТИВНОГО НАРУШЕНИЯ

*По результатам аналитических исследований получены зависимости изменения вертикальной составляющей напряжений в висячем и лежачем боках геологического нарушения. Методом интерполяции данных получена 3-D ґрид-визуализация вертикальных напряжений в пространстве. На основе проведенных исследований сформулированы выводы по использованию предложенного метода.*

---

### ANALYTICAL INVESTIGATIONS OF MASSIVE STRESS IN THE ZONE OF DISJUNCTIVE FAULT INFLUENCE

*On results analytical investigations the vertical component of the stress in the hanging wall and footwall sides geological fault are obtained. By interpolation 3-D grid-visualization of vertical stresses in space is achieved. On the basis of conducted researches the conclusions are formulated for the proposed method utilized.*

---

#### ВСТУП

Гірський масив характеризується високим рівнем структурних і текстурних неоднорідностей та нестатичними фізико-механічними властивостями, де наявність розривних порушень є однією із основних проблем газифікації, оскільки стійкість свердловин значною мірою ослаблюється внаслідок дії підвищеного гірського тиску.

Відомо, що навколо диз'юнктивних та плікативних порушень є зони, що характеризуються підвищеною тріщинуватістю, збільшеними напруженнями, а також змінною міцністю вугілля та порід. Досвід проведення підземної газифікації поблизу гео-

логічних порушень показує, що в зонах підвищеної тріщинуватості суттєво знижується стійкість бокових порід, різко погіршуються умови підтримки реакційного каналу в стабільному стані.

Оцінка стійкості експлуатаційних свердловин в зонах підвищених напружень і тріщинуватості є важливим технічним завданням при проектуванні та довготривалому використанні свердловин. Сучасні методи прогнозу проявів гірського тиску постійно вдосконалюються в напрямку більш повного врахування особливостей формування масиву гірських порід [1]. В свою чергу збільшення кількості факторів, що враховуються, призводить до усклад-

нення розрахунку задач геомеханіки. На даному етапі в практиці використовуються різні методи розрахунку та моделювання стану масиву гірських порід як після, так і до виведення його зі стану рівноваги.

Для дослідження напружено-деформованого стану масиву в зоні впливу гірничих порушень найбільш ефективними є експериментальні методи дослідження: шахтні та лабораторні інструментальні дослідження, а також моделювання на еквівалентних матеріалах [2]. У випадку неможливості проведення експериментальних досліджень в реальних умовах у зв'язку з оцінкою первісного стану досліджуваної задачі або присутності обмежуючих факторів, аналітичні дослідження, що базуються на встановлених закономірностях поведінки гірського масиву, є незамінними.

## АНАЛІЗ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У роботі розглядаються геологічні порушення, які знаходяться в зоні стабільної геодинамічної активності внаслідок завершення складного формування, що відбувалося впродовж тривалого часу. Таким порушенням характерна відносна рівновага, але в самій зоні геологічного порушення існує певна потенційна енергія, яка при найменшій зміні системи перетворюється в кінетичну роботу переміщення. Виникає зона пониженого та підвищеного гірського тиску відповідно в лежачому і висячому боках зміщувача геологічного порушення.

Метою дослідження є встановлення залежностей проявів гірського тиску в лежачому і висячому боках геологічного порушення на стійкість експлуатаційних свердловин.

Перед дослідженням напруженості масиву слід визначити геометричні параметри розподілу меж полів напружень. Така задача виконувалась за допомогою методики, запропонованої в роботі [3].

Дослідженнями [4, 5] встановлено, що

диз'юнктивні порушення являють собою замкнутий простір з максимальним значенням амплітуди в центрі та поступовим його зменшенням до периферії в площині зміщення. Залежність зміни амплітуди геологічного порушення від його простягання апроксимується емпіричним рівнянням другого порядку, а саме

$$Y = 2\sqrt{a - \frac{X^2}{b}}, \quad (1)$$

де  $Y$  – амплітуда геологічного порушення, м;

$X$  – відстань від центра еліпса до простягання тектонічного порушення, м;

$a$  і  $b$  – емпіричні коефіцієнти для конкретних гірничо-геологічних умов.

Таким чином, вісь абсцис ( $X$ ) направлена в напрямку розповсюдження геологічного порушення, а на осі ординат ( $Y$ ) відкладаються значення амплітуди вертикального зміщення порід.

У межах одного родовища дрібноамплітудні геологічні порушення частіш за все мають подібну геометричну форму. Розмір диз'юнктиву описується геометричною фігурою, близькою до еліпса. Збільшення величини розриву впливає на накопичення потенційної енергії в масиві неоднорідних гірських порід.

Порівняння проявів гірського тиску в прилеглих підготовчих виробках шахт Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну показало, що вертикальні зміщення порід на порядок вищі за горизонтальні. З цього випливає, що в розглянутих умовах напружено-деформований стан масиву гірських порід викликає саме вертикальна складова напружень [3].

За результатами досліджень проявів гірського тиску в робочому просторі лави [3] та на основі експериментальних методів досліджень [4, 6], використовуючи залежності (2, 3) для визначення вертикальної складової напружень в зоні підвищеного  $\sigma_n^1$  і зниженого  $\sigma_n^2$  гірського тиску, можна

отримати значення відображення вертикальної складової напружень у стані геодинамічної рівноваги

$$\sigma_n^1 = K_1 \sqrt{2,28 - \frac{X^2}{b}} + \gamma H, \quad (2)$$

$$\sigma_n^2 = \gamma H - K_2 \sqrt{2,28 - \frac{X^2}{b}}, \quad (3)$$

де  $K_1$  і  $K_2$  – перевідні коефіцієнти, що характеризують відхилення напружень на площині граничної частини поля напружень (визначаються графічно за рис. 1), МПа/м;

$\gamma H$  – градієнтна напруженість, МПа;

$X$  – місцезнаходження досліджуваної точки вздовж геологічного порушення, м;

2,28 – емпіричний коефіцієнт, що характеризує структурну та геологічну будову Львівсько-Волинського кам'яно-вугільного басейну;

$$b = \left( \frac{l_{np}}{2} \right)^2, \quad (4)$$

де  $l_{np}$  – повне простягання геологічного порушення.

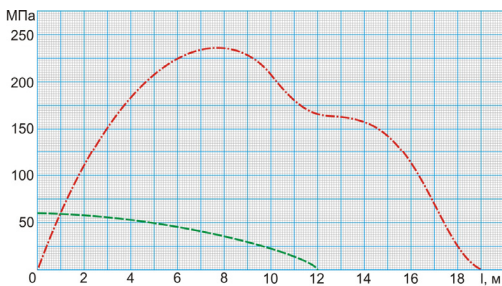


Рис. 1. Графічні залежності перевідних коефіцієнтів: —•—•—•—•—  $K_1$  – у висячому боці зміщувача порід; —•—•—•—•—  $K_2$  – в лежачому боці зміщувача порід

Використовуючи значення перевідних коефіцієнтів  $K$ , з певним кроком та підставивши значення в формули (2) і (3), можна отримати вертикальну складову напру-

жень, що характеризуватиме напруженість масиву в заданій точці. Дослідження проводилися для порушення V класу з довжиною 260 м та амплітудою 3 м.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для отримання об'ємного зображення зміни вертикальної складової напружень вздовж простягання диз'юнктиву, проведено розрахунок зміни величини вертикальної складової напружень за формулами (2), (3) з кроком 10 м. Результати розрахунку наведені на рис. 2 для висячого боку та рис. 3 – для лежачого. Умовний нуль характеризує значення  $\gamma H$ , відповідно  $\sigma_n^2$  є від'ємною величиною. Відповідно величини (МПа), що наведені нижче, не враховують градієнт напруженості.

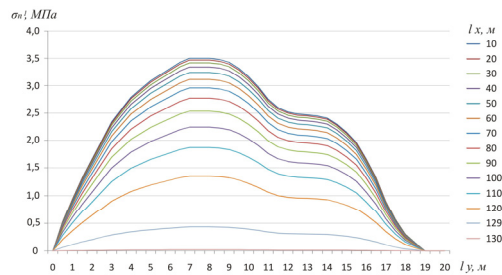


Рис. 2. Зміни величин вертикальної складової напружень у висячому боці за довжиною простягання порушення з кроком 10 м

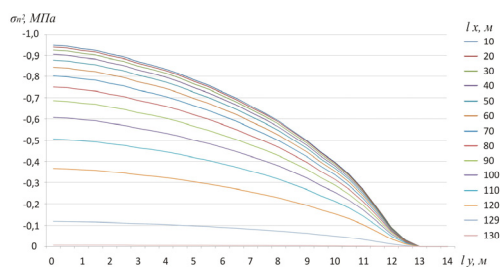


Рис. 3. Зміни величин вертикальної складової напружень у лежачому боці за довжиною простягання порушення з кроком 10 м

На рис. 2 зображено, що максимальні напруження сягають 3,5 МПа на початку осі відліку координат  $x$  і простягаються від 7,5 до 8,5 м по осі  $y$  з поступовим зменшенням при віддаленні від площини диз'юнктиву. Остаточний спад напружень відбувається на відстані  $l_y = 19$  м. Характерною особливістю висячого боку є нерівномірний спад напружень за довжиною порушення  $l_x$ . До 60 м від центру осі  $x$  величина напружень зменшується на 11,5%. Різкий спад напружень по осі  $lx$  спостерігається на відмітці 120 м. На десяти метрах напруження спадають з 1,4 до 0,2 МПа.

Лежачий бік (див. рис. 3) характеризується зниженими напруженнями. Від'ємний знак показує зменшення вертикальних напружень у порівнянні з  $\mathcal{H}$ . За результатами аналітичного дослідження зниження напружень сягають 0,95 МПа і розповсюджуються на довжину  $l_y = 13$  м, причому характер розповсюдження впливу порушення відповідає висячому боці. Межі

спаду напружень  $\sigma_n^2$  пропорційні  $\sigma_n^1$ . Для наочного відображення різкого зменшення величин вертикальних складових були проведені розрахунки для точок по осі  $y$ , що відповідають відмітці 129 м по осі  $x$ . Щоб згладити такі перепади, а також отримати більш точні значення, були проведені додаткові розрахунки  $\sigma_n^1$  та  $\sigma_n^2$  з кроком 2 м по простяганню порушення  $l_x$  від 0 до 120 м, а в зоні різких спадів напружень з кроком 1 м.

Використання додаткових розрахунків дало змогу не лише згладити різкі перепади числових даних, а отримати точні значення по трьох осях координат для побудови 3-D грид-моделі, що будується на основі методу інтерполяції даних. Об'ємна візуалізація зміни вертикальної складової напружень у просторі вздовж лінії геологічного порушення наведена на рис. 4.

Таким чином, використовуючи аналітичний підхід, можна отримати значення вертикальних напружень і межі впливу геологічного порушення навколо зміщувача.

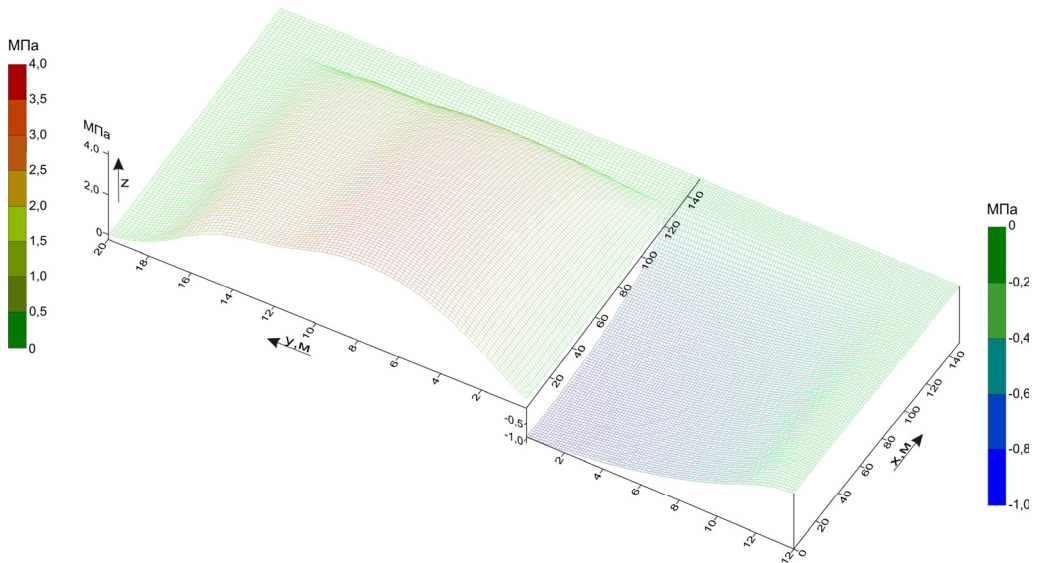


Рис. 4. Об'ємне зображення зміни вертикальної складової напружень у просторі

## ВИСНОВКИ

Проведені аналітичні дослідження формування зон підвищених та понижених напружень в зоні впливу геологічного порушення переконливо доводять, що амплітуда змішувача має безпосередній вплив на зміну напруженого стану гірського масиву. Зона підвищених напружень чітко прослідковується у висячому боці, а понижених – лежачому.

Незважаючи на вищевказане, не можна обмежуватися лише аналітичними дослідженнями, оскільки вони зображають лише зміни вертикальних напружень за площиною. Проведення таких досліджень не дає змогу повною мірою визначити оптимальні місця закладання трас експлуатаційних свердловин поза межами зони впливу підвищеного гірського тиску для забезпечення їх стійкості у продовж всього

часу їх використання.

Безперечним є те, що поза межами впливу порушення (в нашому випадку 19 м в лежачому та 13 м у висячому боках) максимальні вертикальні напруження не перевищуватимуть  $\mathcal{H}$  і відповідно не впливатимуть на пропускну спроможність свердловин.

Метод інтерполяції даних, для отримання 3-D грид-зображення, вимагає досить точних значень по трьох осях координат, що робить аналітичний вид дослідження досить громіздким.

У подальшому авторами планується проведення аналітичних досліджень методом комп'ютерного моделювання для підтвердження чи спростування даних аналітичних досліджень, з можливістю моделювання закладеної свердловини в межах вугільного пласта.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Розвиток наукових основ підвищення стійкості гірничих виробок шахт Західного Донбасу: монографія / [Бондаренко В.І., Мартовичський А.В., Ковалевська І.А., Черватюк В.Г]. – Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2010. – 340 с.

2. Вплив геологічного середовища на інтенсифікацію розробки тонких і надтонких пластів Донбасу: монографія / [Кузьменко О.М., В'ялий К.І., Демченко А.П., Гречушкін В.В]. – Д.: ТОВ «Підприємство «Дріант»», 2010. – 212 с.

3. Дичковський Р.О. Високомеханізоване виїмання тонких вугільних пластів в зонах структурних змін гірського масиву Львівсько-Волинського басейну: монографія / Р.О. Дичковський. – Д.: НГУ, 2010. – 110 с.

4. Дичковський Р.О. Визначення впливу амплітуди змішувача порід за допомогою моделей із еквівалентних матеріалів для умов Львівсько-Волинського вугільного басейну // Зб. наук. праць НГАУ. – Д.: РВК НГА України, 2001. – № 12, Т.3. – С. 86 – 91.

5. Дычковский Р.Е. Определение геометрических границ полей напряжений в условиях Львовско-Волинского угольного бассейна / Р.Е. Дычковский // Нау-

ковий вісник НГАУ. – 2002. – № 1. – С. 30 – 33.

6. Гриценко Г.И. Общее принципы оценки напряженного состояния массива экспериментально-аналитическим методом механики горных пород / Г.И. Гриценко, Б.В. Власенко // Аналитические методы и вычислительная техника в механике горных пород. – Н., 1975. – С. 109 – 116.

## ПРО АВТОРІВ

Дичковський Роман Омелянович – д.т.н., доцент кафедри підземної розробки родовищ Національного гірничого університету.

Фальштинський Володимир Сергійович – к.т.н., доцент кафедри підземної розробки родовищ Національного гірничого університету.

Лозинський Василь Григорович – аспірант кафедри підземної розробки родовищ Національного гірничого університету.

Сайк Павло Богданович – аспірант кафедри підземної розробки родовищ Національного гірничого університету.