

3. Тищенко С.В. Использование динамической зоны разрушений для защиты законтурного массива горных пород при производстве взрывных работ // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог: КТУ, 2003. – Вып.83. – С.17-20.

Рукопись поступила в редакцию 03.04.12

УДК 528.4

В.Г. БУРАЧЕК д-р техн. наук, проф., Т.М. МАЛІК, старший викладач,
Університет новітніх технологій, м. Київ

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВІЗУВАННЯ ПРИСТРОЇВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Постановка проблеми. Існуючі способи або методи візування, наприклад візуальний або фототеодолітний мають низку недоліків: великий об'єм ручних (візуальних) вимірювань та налаштування приладів, важкість використання цих методів при автоматичному або при автоматизованому моніторингу споруди та ін. Описаний в статті спосіб підвищення точності візування пристроїв фотоелектричного зв'язку розкриває перспективи суттєвого підвищення точності візування за рахунок застосування субпіксельної технології вимірювань в умовах оптико-електронного зв'язку приладів подвійного фотоелектричного ланцюгу.

Огляд попередніх публікацій. Відомі способи візування:

візуальний, за допомогою оптичної зорової труби [5], при цьому використовують методи візування зоровою трубою нівеліра, теодоліта та ін., де для візування застосовують сітки і шкали з вертикальними і горизонтальними нитками;

фототеодолітний метод, в якому виконують візування мішенню фотоприймального пристрою по горизонтальному або вертикальному штриху, а також по зображенню точки [6].

При фототеодолітному способі візування використовується фотоелектричний зв'язок між променем візування і ПЗЗ матрицею, на мішень якої цей промінь падає.

Пристрій для контролю положення елементів інженерної споруди [1,2], дозволяє забезпечити вимірювання поточних координат деформаційних марок інженерної споруди, при цьому внаслідок обмежених можливостей схеми «об'єktiv-матриця» точність вимірювання кутів приладами з використанням подвійного фотоелектричного ланцюгу (ПФЕЛ) буде не достатньо високою (при $f=200$ мм і розмірі сторони пікселя 0,01 мм точність відліку буде складати не краще 10 кутових секунд).

У [2] описано спосіб контролю висотного положення деформаційних марок, що ґрунтується на фотоелектричній реєстрації відносного положення трьох суміжних марок, який відрізняється тим, що фотоелектричний вимірювальний прилад (ФЕП) з'єднують з посадковою конструкцією деформаційної марки, світлові випромінювачі з'єднують також з сусідніми по обидва боки від ФЕП деформаційними марками, а світлові потоки від світлових випромінювачів направляють в об'єktiv ФЕП і вимірюють різницю кутових відхилень зображень світлових випромінювачів в полі зору ФЕП. При цьому для підвищення точності застосовують оптичний клин з обертанням навколо оптичної осі ФЕП. Зображення джерела світла на мішені матриці суміжного ФЕП описує коло. По положенню точок кола визначають центр кола на мішені.

У даному випадку розв'язується задача контролю висотних відміток деформаційних марок. Рішення ґрунтується на фотоелектричній реєстрації відносного положення трьох суміжних марок ФЕП з перестановкою на сусідню марку за напрямком нівелірного ходу, а світлові випромінювачі переставляють також на сусідні по одній марці і виконують вимірювання, аналогічне попередньому; далі повторюють описані операції по всьому нівелірному ходу, а за отриманими різницями кутових відхилень зображень світлових випромінювачів на всіх деформаційних марках, включаючи марки на опорних реперах, розраховують і зрівнюють значення висотних відміток деформаційних марок і порівнюють ці значення з отриманими у попередньому черговому циклі вимірів.

На рис. 1 зображено блок-схему приладової реалізації способу контролю висотного положення деформаційних марок:

світлові випромінювачі (1.1-лівий, 1.2-правий);

призмий світлорозподільний блок;

скануючий блок з клином і механізмом приводу;
 об'єктив;
 дискретний фотоаналізатор (наприклад, ПЗЗ-матриця);
 електронний блок обробки інформації;
 блок індикації;
 блок запису і зберігання інформації.

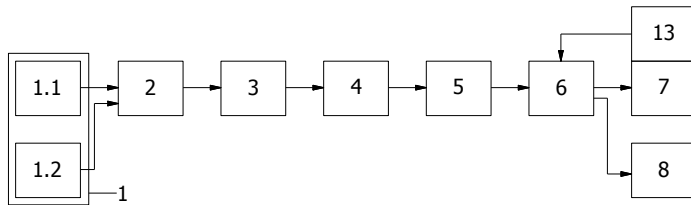


Рис. 1. Блок-схема приладової реалізації способу контролю висотного положення деформаційних марок

На рис. 2 показано схематично конструктивне виконання приладу для контролю висотного положення деформаційних марок, позначено:

корпус фотоелектричного вимірювального приладу (ФЕП);
 блок шторок з механізмом почергового „відкриття-закриття“;
 прецизійна з'єднувальна основа приладу;
 прецизійна з'єднувальна основа світлового випромінювача;
 клавішний пристрій.

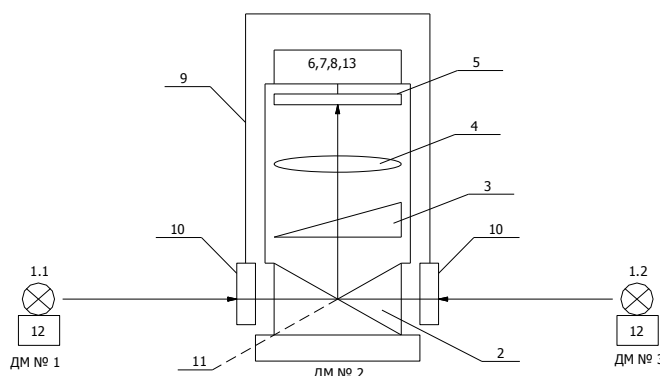


Рис. 2. Схематично конструктивне зображення приладу для контролю висотного положення деформаційних марок

Блоки ФЕП 2-11 змонтовано в єдиному корпусі 9. ФЕП прецизійною основою 11 встановлено і з'єднано з відповідним точним механізмом деформаційної марки ДМ на даній нівелірній точці. У суміжних нівелірних точках на таких самих точних механізмах ДМ встановлені своїми основами 12 випромінювачі світла 1 (1.1. і

1.2).

Технологія контролю відносних висот ДМ здійснюється за допомогою описаного приладу так:

Контроль починають від опорного реперу нівелірного ходу (опорної ДМ №1), на якій встановлюють світловий випромінювач 1.1; на ДМ №2 - встановлюють ФЕП; на ДМ №3 встановлюють світловий випромінювач 1.2 (рис. 2).

При включенні ФЕП і світлових випромінювачів 1.1. і 1.2. світлові потоки від останніх потрапляють через світлорозподільний блок 2 і скануючий блок 3 в об'єктив 4. Об'єктив 4 формує зображення світлових випромінювачів 1.1 і 1.2 в приймальній площині фотоаналізатору 5. Блок шторок 10 почергово відчиняє шторки, пропускаючи світловий потік то від світлового випромінювача 1.1, або від світлового випромінювача 1.2. при цьому скануючий клинковий блок 3 має обертання навколо вертикальної вісі, що здійснюється механізмом приводу, який забезпечує сканування світловим променем (1.1 і 1.2 почергово) площини фотоаналізатора 5 і цим самим дозволяє суттєво підвищити точність фіксації положення зображення світлових випромінювачів 1.1 і 1.2 відносно оптичної осі системи блоків 2,4,5.

Дані вимірювань положення світлових променів 1.1 і 1.2 у блоці 5 поступають у блок 6, де визначають кутові координати вертикальних напрямків «світловий випромінювач 1.1 - об'єктив 4 (через світло розподільник 2)» і «світловий випромінювач 1.2. - об'єктив 4 (через світло розподільник 2)» і обчислюють вертикальний кут між цими напрямками. Ці дані надходять в блок 8. У пам'ять блоку 6 введено дані попереднього контролю цих же ДМ, при цьому номери ДМ вводять через клавішний пристрій 13 блоку індикації 7 і на табло останнього висвітлюється величина відхилення вимірюваного вертикального кута від отриманого під час попереднього контролю.

Після виконання роботи на ДМ №№ 1,2,3 переставляють ФЕП і світлові випромінювачі 1.1 і 1.2 на наступні марки нівелірного ходу - на №№ 2,3,4 (ФЕП на №3). Всі вище описані операції повторюють, а потім переходять на ДМ №№ 3,4,5; 4,5,6; ...; n-2, n-1, де n - опорний репер.

У процесі вимірювань звертають увагу на величини відхилень виміряних вертикальних кутів від кутів, отриманих на попередніх етапах контролю і порівнюють з встановленим допуском. Дані зі всього контрольного ходу (виміряні вертикальні кути) з блоку 8 вводять в комп'ютер разом з відмітками реперів ДМ №1 ДМ № n і обчислюють виправлені перевищення для кожної ДМ (з врахуванням розподілу поправок за нев'язки в ході), а також виконують оцінку точності отриманих результатів.

Недоліком наведеного вище технічного рішення є наявність механічних деталей, що знижує надійність пристрою та збільшує час вимірювань. У зв'язку з цим необхідно поставити задачу створення пристрою, який може забезпечити підвищення точності і надійності оптико-електронного (ОЕ) зв'язку приладів при їх взаємному візуванні, зменшення габаритів ОЕ каналів та виключені механічних зв'язків.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження способу підвищення точності візування пристроїв фотоелектричного зв'язку.

Методика дослідження. Новий пристрій містить ланцюг фотоелектричних двоканальних приладів з взаємним візуванням на джерела світла один до одного попарно, та відрізняється тим, що навколо оправы об'єктиву кожного ОЕ каналу приладу ланцюга змонтована кільцева полоса з джерел світла (світлодіодів), при цьому в схему кожного приладу вмонтовано електронний блок керування увімкненням та вимкненням джерел світла.

Схему пристрою ОЕ зв'язку приладів у ПФЕЛ зображено на рис. 3, де позначено:

- 1 - об'єктиви оптико-електронних каналів A і B ;
- 2 - ПЗЗ-матриці каналів A і B ;
- 3 - світлові елементи кільцевих джерел світла;
- 4 - захисні бленди;
- 5 - світлові промені (потоки), що попадають на об'єктиви: на об'єктив 1 каналу A від світлових елементів 3 каналу B та навпаки - на об'єктив 1 каналу B від світлових елементів 3 каналу A ;
- 6 - ПЗЗ-матриця каналів, що пристикується до каналу A механічно;
- 7 - ПЗЗ-матриця, що приєднується до каналу B механічно.

На рис. 3 схематично показано два суміжні канали ПФЕЛ - зліва (канал A) та справа (канал B) на кресленні.

Оптико-електронний канал A лівого приладу, а також канал B правого приладу здійснюють оптико-електронний двокоординатний взаємозв'язок один з одним по осям X та Y (третя координата по осі X здійснюється дальномірною схемою приладу ПФЕЛ) [1].

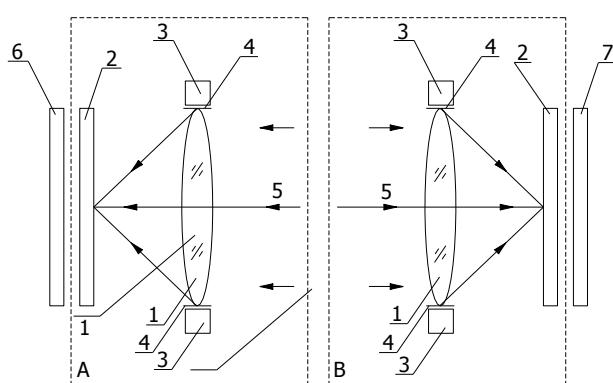


Рис. 3. Схема пристрою ОЕ зв'язку у ПФЕЛ. A і B - суміжні канали ПФЕЛ

Визначення координат центрів наведених вище кіл виконується за наступною схемою зображеної на рис. 4. На рис. 4 зображені в аксонометрії основні елементи оптико-електронного каналу B :

- 1 - об'єктиви оптико-електронних каналів A і B ;
- 2 - ПЗЗ-матриці каналів A і B ;
- 3 - світлові елементи кільцевих джерел світла;
- 4 - захисні бленди;

5 - світлові промені (потоки), що потрапляють на об'єктиви: на об'єктив 1 каналу A від світлових елементів 3 каналу B та навпаки - на об'єктив 1 каналу B від світлових елементів 3 каналу A ;

6 - ПЗЗ-матриця каналів, що пристикується до каналу A механічно ;

7 - ПЗЗ-матриця, що пристикується до каналу B механічно;

8 - блок обробки інформації;

9 - блок керування послідовного включення і виключення джерела світла кільцевої полоси;

10 - блок керування верхнього рівня ділянки ПФЕЛ.

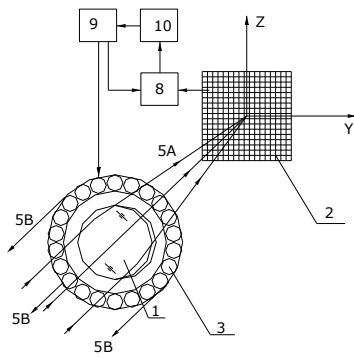


Рис. 4. Схема елементів оптико-електронного каналу В

Електричний вихід блоку 10 з'єднано з електричним входом блоку 9. Вихід блоку 9 поєднано зі входом блоку світлового кола 3. Вихід матриці 2 електрично поєднано з входом блоку 8. Другий вихід блоку 9 також поєднано з блоком 8. Вихід блоку 8 поєднано зі входом блоку 10.

Пристрій функціонує так:

У кожному приладі ПФЕЛ по команді блоку верхнього рівня керування 10 блок 9 формує керування рухом світлового сигналу індексу, контролює роботу кільце 3 світлових джерел.

Зображення світлової точки (індексу) при увімкненні світлових елементів джерела 3 каналу А описує коло на мішені матриці 2

каналу В. Одночасно світлові промені 5 каналу В від джерела 3 каналу В через об'єктив 1 каналу А фокусуються у вигляді зображення точки (індексу) на матриці 2 каналу А і описують коло за вищенаведеною схемою, далі координати кожної точки цього колу надсилаються до блоків обробки інформації 8, де визначають координати описаних кіл.

Координати кожної позиції джерел світлових кілець 3 надсилаються до блоку обробки інформації 8, де визначаються координати центрів описаних кіл, які з блоку 8 передаються в блок 10.

Зображення світлового індексу при переміщенні на мішені матриці (осі X, Y) по колу з радіусом r перетинає межі між пікселями (гранями рядків і стовбців пікселів матриці).

Основні вимоги до приладу (ПФЕЛ) пов'язані з умовами роботи ПФЕЛ [1], заданою точністю вимірювання величин відхилення конструкції даху, з діапазоном можливих кутових і лінійних деформацій основ для установки приладів, що визначають поле зору приладів та іншими факторами.

Також досить важливим є вимоги мінімізації габаритів приладів. Зрозуміло, що створення приладу з малими габаритами обумовлює:

мінімізацію фокусної відстані f_1 приладу;

розміщенням елементів ПФЕЛ (ОЕ каналів і світлових марок-індексів) на одній прямій лінії;

Отже, потрібно вирішувати задачу з суперечливими умовами: досягнення високої точності і зменшення фокусних відстаней приладів ПФЕЛ.

Можна попередньо сформулювати основні характерні особливості приладу ПФЕЛ:

мале поле зору (не більше $30'-1^\circ$);

обмеження фокусної відстані ($f_1=100$ м та менше);

точність взаємного візування (для різних варіантів від 0,5" до 5");

неконтрольоване кутове зміщення осі приладу ($\sim 5-10'$)

Для випадку оптико-електронного візування, на відміну від задачі розпізнавання об'єктів, розв'язується задача вимірювання положення об'єкту з відомими розмірами і орієнтацією його зображення на матриці. Це обумовлює можливість і необхідність використання субпіксельних методів візування.

Розглянемо питання точності визначення центру даного кола. На рис. 5 показано розміщення зовнішньої границі кола світлової полоси, яку описує зображення джерела світла, що рухається на мішені матриці. Прийемо розмір зображення джерела світла в радіальному напрямку в декілька пікселів, щоб світлова полоса на мішені покривала як мінімум 2-3 пікселі. Звернемо увагу на зони мішені в районі точок дотику зовнішнього кола дотичними, паралельними лініями рядків та стовбців.

Очевидно, що найбільш повільна зміна освітленості пікселів перпендикулярна до шляху зображення світлового індексу буде мати місце в зонах рядків поблизу осі Y і в зонах стовбців - поблизу осі X. Застосовуючи субпіксельну технологію для оцінки положення вищевказаних ділянок кола з апроксимацією функцій $f_x \leq \frac{\partial x}{\partial y}$ і $f_y \leq \frac{\partial y}{\partial x}$ з урахуванням засвічування пікселів по методу, що аналогічно описаному в [3] знаходять точки перетинання кола рядків і стовбців, обчислюють ексцентриситети ϵ_x і ϵ_y , а також точне положення центру кола, яке приймають для розрахунків кутів в ПФЕЛ.

На рис. 5 зображено положення полоси кола засвічення пікселів, що рухається по колу зображенням індексу на матриці для кожного з чотирьох пікселів, а всі інші пікселі цих зовнішніх рядків засвічені менш ніж на $0,5p^2$ (рис. 5б), де p - сторона квадрату пікселя, вочевидь, що засвічення пікселів у зонах I-IV попарно симетричні відносно центру і площа засвічення крайніх пікселів складає $0,5p^2$. У рядках при зовнішній границі полоси показані штриховкою.

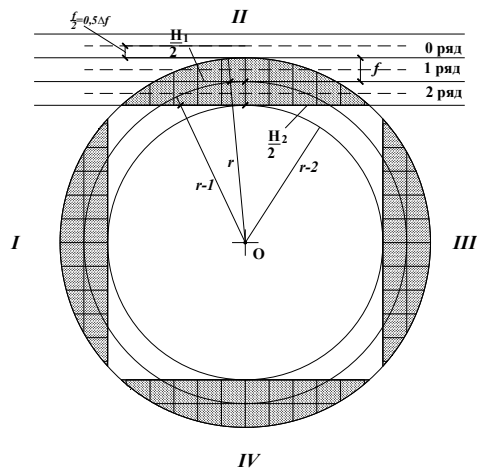


Рис. 5. До визначення центру кола

сувати формулу залежності числа засвічених пікселів у крайніх стовпчиках (рядках) для 2-3 рядків та радіусу зовнішнього кола, прийняв ряд засвічених пікселів як хорду, при цьому

$$H = 2\sqrt{2rf - f^2},$$

де H - довжина хорди; r - радіус зовнішнього кола та f - стрілка прогину (всі значення в пікселях).

У табл. 1 надано значення засвічених пікселів в рядках (лік рядків від лінії кола).

Таблиця 1

Зсув Δf	Значення засвічених пікселів в рядках		
	Кількість пікселів в ряді (величина хорди H)		
	0 ряд	1 ряд	2 ряд
0,0	0,00	37,42	64,81
0,1	0,00	40,99	66,93
0,2	0,00	44,27	68,99
0,3	0,00	47,33	70,99
0,4	0,00	50,20	72,94
0,5	0,00	52,92	74,83
0,6	16,73	55,50	76,68
0,7	23,66	57,97	78,49
0,8	28,98	60,33	80,25
0,9	33,47	62,61	81,98
1,0	37,42	64,81	83,67

Вибір величини H залежить від заданої точності визначення центру кола при значеннях стрілки прогину (тобто зсуву центру зовнішнього кола) по осі I-III або II-IV в межах 1 пікселю та при значеннях радіусу кола $r=250p$, спостерігається вищенаведений ефект зміни кількості засвічених пікселів в крайніх рядках. Чутливість даної субпіксельної технології в даному випадку складає $\Delta H_{I-III} = H_I - H_{III}$ і $\Delta H_{II-IV} = H_{II} - H_{IV}$ як мінімум дві одиниці ($u=2p$ при зміщенні центру кола на 0,1 пікселю). Використовуючи подвійну систему розрахунків пікселів можливо отримати точність визначення дробної частини величини відстані від зовнішнього кола до його центру з точністю не гірше 0,05 пікселів і визначити координати центру зовнішнього кола по даній осі.

Отримані значення центрів засвічених кіл у вигляді електронних кодів, що передають в блоки 10 ПФЕЛ (рис. 4) (поступають дані з результатами візування усіх каналів приладів ПФЕЛ) використовують в системі обробки інформації на рівні мережі ПФЕЛ, де визначають просторове положення усіх деформаційних марок споруди за допомогою ПФЕЛ.

Отже, представлена технологія візування в ПФЕЛ дозволяє суттєво підвищити точність взаємного оптико-електронного зв'язку приладів ПФЕЛ, їх надійність і компактність конструкції.

Висновки. У статті показано перспективу суттєвого підвищення точності візування за рахунок застосування субпіксельної технології вимірювань в умовах оптико-електронного зв'язку приладів подвійного фотоелектричного ланцюгу. При цьому обґрунтовані чутливість та точність субпіксельної оцінки комбінацій сигналів від пікселів на ПЗЗ-матриці для варіанту візування світловим кільцем.

Список літератури

1. Бурачек В.Г., Боровий В.О., Крисенко М.В., Шульц Р.В. Концепція геопросторового моніторингу інженерних споруд в аспекті техногенної безпеки / В.Г.Бурачек, В.О.Боровий, М.В.Крисенко, Р.В. Шульц // Вісник Криворізького технологічного університету. - Вип. 12, 2006. -С. 202-207.
2. Патент на винахід № 82247 Україна, МДЖ (2006) О01С 5/00, Боровий В.О., Бурачек В.Г., Крисенко М.В., Рябчий В.В., Шульц Р.В. Заявлено 27.02.2006; Опублік, 25.03.2008, Бюл. № 13.
3. Білоус М.В. Бурачек В.Г. Крячок С.Д. Малік Т.М. Патент України на винахід № 95449 10.08.2011, Бюл. №15 Спосіб контролю висотного положення деформаційних марок.
4. Бурачек В.Г., Беленок В.Ю., Зацерковний В.І. Аналіз можливості підвищення якості дешифрування аерокосмічних знімків. Вісник ЧДДЕУ, 2010.
5. Чеботарев А.С., Селиханович В.Г., Соколов М.М. Геодезія., ч.ІІ.-М.: Геодезиздат, 1962.
6. Баран П.И., Видуев Н.Г., Войтенко С.П., Полищук Ю.В., Шевердин П.Г. Справочник по инженеринженерной геодезии.- К.: «Вища школа», 1978.

Рукопись поступила в редакцию 03.04.12

УДК 622.252.8 + 622.831

В.А.МАЩЕНКО, канд. фіз.-мат. наук, доц., Рівненський державний гуманітарний університет,
В.П. РАЧКОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, Рівненська філія Європейського університету,
С.О. КРАЙЧУК, аспірант, Інститут гідромеханіки НАН України

ПРОГНОЗУВАННЯ СТІЙКОСТІ ВЕРТИКАЛЬНОЇ СВЕРДЛОВИНИ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРУ ПРИ РОЗРОБЦІ АЛМАЗОНОСНИХ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Запропоновано модель зони непружних деформацій навколо незакріпленої свердловини великого діаметру та метод оцінки критичних навантажень при можливій втраті стійкості стінок свердловини. Проведено теоретичні розрахунки критичного навантаження в залежності від розмірів зони непружних деформацій в цілому задовольняють умови критерію стійкості незакріпленої вертикальної свердловини при розробці алмазonoсних родовищ в кімберлітовій породі.

Постановка проблеми. Підземна розробка корінних родовищ алмазonoсних масивів включає розкриття кімберлітової трубки шахтними стволами та квершлагами і системою вертикальних свердловин діаметром 6 м, що проходять за допомогою бурових установок Нg-330Sp, встановлених на земній поверхні [1]. При такій технологічній схемі розробки виникає проблема прогнозу стійкості стінок незакріплених свердловин пройдених буровим способом. Особливу складність і актуальність задача оцінки має у випадку необхідності прогнозування несучої здатності таких об'єктів при накопиченні дефектів різного характеру, зокрема тріщин бокової поверхні та зсувів породи внаслідок втрати стійкості, поява яких може бути обумовлена дією достатньо широкого спектру зовнішніх збурень.

Механічні процеси, що виникають в породних масивах можуть мати небажані наслідки у вигляді зсувів у виробку та достатньо великих зміщень її контуру при веденні гірничих робіт, а також динамічних явищ техногенного характеру. Поява дефектів та зсувів носять, як правило, випадковий характер, а їх кількість разом із терміном експлуатації вносить додаткові труднощі в дослідження цієї проблеми [2].

Руйнування гірського масиву біля свердловини може відбутися при досягненні напружено-деформованого стану породи та критичних значень відповідних параметрів, що відповідають локальній втраті стійкості [3]. Ключовим моментом в такому випадку є формування і розвиток зони непружних деформацій (ЗНД) навколо стволів (свердловин) і визначення співвідношення їх параметрів з параметрами зони руйнування порід. У кінцевому випадку навколо виробки формується три характерні області: domeжового стану (в'язко-пружної деформації), замежового