

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ГОРНОГО МАССИВА  
С ПОМОЩЬЮ ОБОРУДОВАНИЯ ВИЗУАЛЬНОГО  
ВНУТРИСКВАЖИННОГО КОНТРОЛЯ (ВВК)**

В статті приведено методіку визначення деформацій та засіб оцінки параметрів зсуву гірського масиву с залученням обладнання для проведення візуального внутрішньосвердловинного контролю.

**THE METHOD OF DETERMINATION OF DEFORMATIONS OF  
MOUNTAIN RANGE BY THE EQUIPMENT OF THE VISUAL INSIDE  
CONDITION WALLS OF THE CONTROL**

In the articles the method of determination of deformations and method of estimation of parameters of moving of mountain range is resulted with the use of equipment for visual inside condition walls of states of rock mass.

Исследования внутренней поверхности скважин, пробуренных из выработанного пространства, представляет особенный интерес для угледобывающей промышленности, где крайне важным является оперативность и достоверность получаемой информации о состоянии углепородного массива.

В основу работы комплекса ВВК положена идея получения, передачи, хранения и обработки видеoinформации (фотоинформации), позволяющая оценивать искомые параметры состояния горного массива. Приборная база основана на современных миниатюрных блоках, имеющих минимальные габариты, высокие производительность и помехоустойчивость, низкое энергопотребление, влаго- и пылезащищенность [1-4].

Постоянно развивается область методов и оборудования неразрушающего контроля. В различных областях науки и техники применяются различные средства визуального контроля – эндоскопы и интроскопы. Но разработанные методики и оборудование не эффективны при исследовании внутренней поверхности скважин пробуренных из шахтных выработок [1].

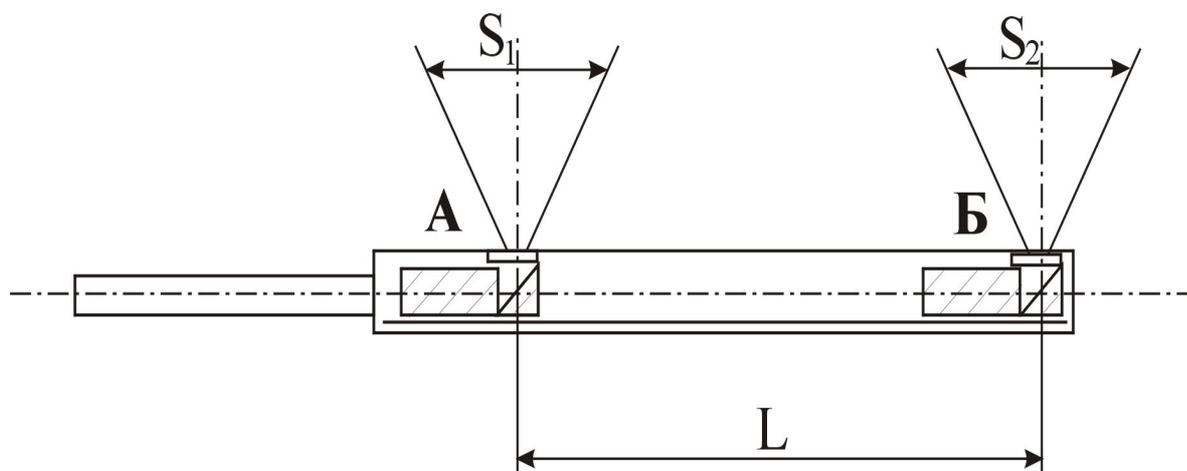
**Методика определения деформаций горного массива с помощью оборудования ВВК**

Одной из задач, решаемых с помощью ВВК, является определение деформаций горного массива. При использовании видеодатчика вида, представленного на рис. 1, применяя метод двух точек, наведение на которые осуществляется оператором ВВК, можно определять изменение размеров исследуемой внутренней поверхности скважины.

Если видеокамеры А и Б имеют одинаковый угол обзора и разрешающую способность по оси скважины. Видеодатчик оборудования ВВК превращается в линейку имеющую точность измерения равную удвоенной разрешающей способности ВК.

Определения проводятся следующим образом.

Оператор подводит с помощью досылщика укрепленный на нем видео-датчик, ориентируясь так, что бы предыдущее (базовое) изображение находилось в зоне видимости той же видеокамеры.



А и Б - видеокамеры,  $L$  - расстояние между ними,  $S_1, S_2$  - область видения видеокамер  
Рис. 1 – Схема видеодатчика оборудования ВВК, применяемого для измерения деформаций горного массива

Затем производится фотографирование изображений, получаемых с обеих видеокамер А и Б, и производится покадровое сравнение двух фотографий. Используя базовую методику [3] определяется величина пикселя фотографий.

Выбираются группы точек, общие для каждой из пар фотографий, затем пересчитываются пиксели, их разделяющие.

Исходя из полученных данных вычисляется расстояние между двумя зонами исследований.

На рис. 2 изображена схема пар фотографий с выбранными характерными точками, полученных с двух видеокамер А и Б, установленные на видеодатчике оборудования ВВК.

Видеокамеры А и Б имеют разрешение  $X_1 \times Y_1$  и  $X_2 \times Y_2$ , соответственно.

Последовательно накладываем изображение видеокамеры одно на другое в программе *Photoshop CS3*, таким образом, чтобы наложенное изображение имело прозрачность 60%.

Пересчитываем количество пикселей в направлении оси скважины разделяющих характерные точки.

По методу вычисления видимого раскрытия трещин вычисляем линейные размеры между парами точек [4].

Разность расстояний по оси скважины между характерными точками, определяет смещение по оси скважины на величине  $l$ .

$$n_1 \frac{l_1}{X_1} - n_2 \frac{l_2}{X_2} = \Delta X, \quad (1)$$

где:  $n_1, n_2$  - количество пикселей между двумя характерными точками видеокамеры А и видеокамеры Б соответственно;  $l_1, l_2$  - область видения видеокамеры по оси скважины видеокамеры А и видеокамеры Б соответственно;  $X_1, X_2$  - разрешающая способность видеокамеры А и видеокамеры Б соответственно;  $\Delta X$  - разность расстояний по оси скважины между характерными точками.

$$E = \Delta X \cdot l, \quad (2)$$

где:  $E$  - деформация.

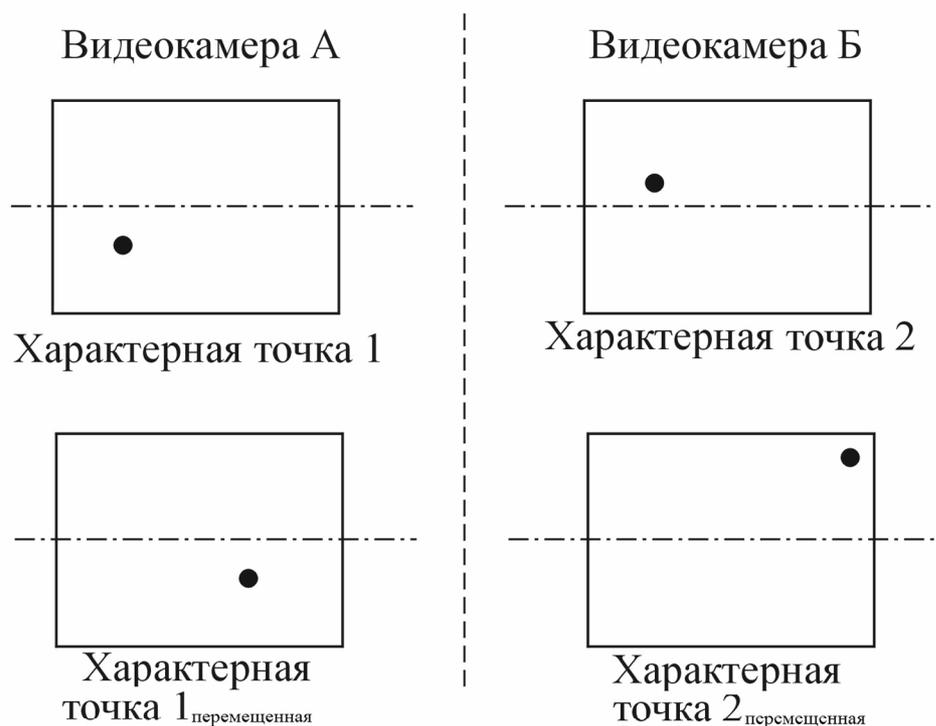


Рис. 2 - Схема пар фотографий с выбранными характерными точками, полученных с двух видеокамер А и Б

Подобным образом находится величина наклона скважины при вычислениях размеров, перпендикулярных к оси скважины.

Если для определения деформаций будут использованы две одинаковые по разрешающей способности видеокамеры, то к примеру исходя из лабораторных исследований [4], размеры пикселя составят  $0,0125 \times 0,0125$  мм.

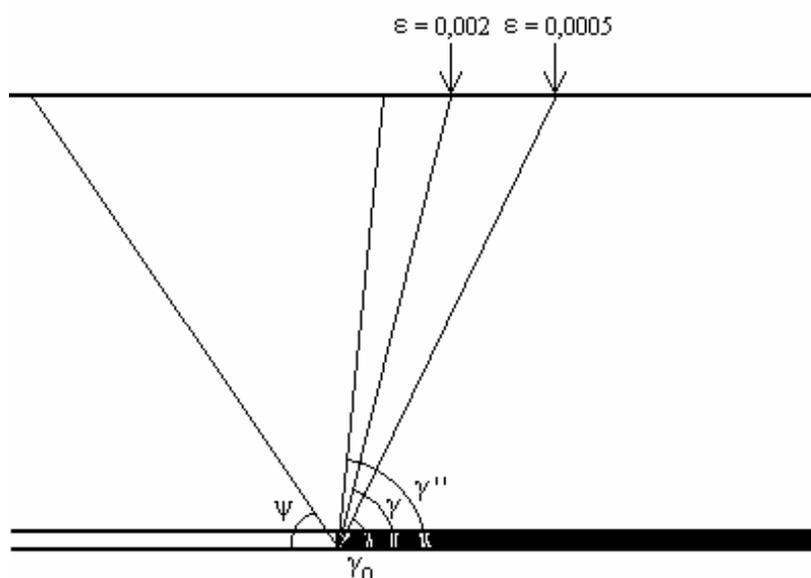
При любом расстоянии между видеокамерами в видеодатчике оборудования ВВК получаем возможность измерения линейных деформаций с точностью 0,025 мм.

Практическим применением метода измерения деформаций может служить исследование процессов сдвигения подрабатываемого массива. Лабораторные исследования [4] показали, что точность исследования деформаций, возникающих в процессе сдвигения в 20 раз точнее, чем критерий, опреде-

ляющий углы сдвига  $E = 0,5 \cdot 10^{-3}$  м [5].

### Применение комплекса ВВК для оценки параметров сдвига подрабатываемого горного массива

Выемка пласта сопровождается сдвижением горного массива. Согласно [5], за границу зоны влияния горных работ принимают точку, в которой величина деформации растяжения  $\varepsilon = 0,0005$  (рис. 3) при длине интервала наблюдений 15-20 м. За границу зоны опасного влияния принята точка, в которой величина деформации растяжения  $\varepsilon = 0,002$ . Эти величины являются критериальными угловыми параметрами сдвига. Точкой начала процесса сдвига земной поверхности (влияния горных работ) принято считать точку, в которой нивелированием установлено оседание  $\eta = 15$  мм независимо от величин горизонтальных деформаций или наклонов. За окончание процесса сдвига принимается дата, после которой суммарные оседания на протяжении 6 месяцев не превышают 10 % максимальных, но не более 30 мм.



$\gamma_0$  – граничный угол сдвига;  $\gamma$  – угол полных сдвижений;  
 $\gamma''$  – угол разрывов;  $\psi$  – угол полных сдвижений

Рис. 3 – Схема расположения критериальных границ сдвига горного массива

Линия, проведенная под углом разрывов, согласно [5], соединяет границу выработки с ближайшей к границе мульды сдвига трещиной. Кроме того, в полумулде может определяться угол разрывов, ограничивающий зону трещин.

Оценим возможность и границы применимости комплекса ВВК для установления положения в горном массиве точек, соответствующих критериальным параметрам.

Пусть в подрабатываемом горном массиве пробурена скважина  $L$  (рис. 4), в которой с помощью комплекса ВВК определяют деформацию от влияния движущейся лавы, вынимающей угольный пласт. Угол отклонения оси скважины от оси подготовительной выработки составляет  $\lambda$ ; угол наклона сква-

жины к плоскости напластования  $-\beta$ .

Рассмотрим схему, приведенную на рис. 4. Величина  $L$  представляет собой исходное расстояние между некоторыми визуально хорошо различимыми точками  $a$  и  $b$  на поверхности скважины (назовем его «базис наблюдения»). В результате влияния лавы горный массив деформируется, и расстояние  $L$  между точками  $a$  и  $b$  изменяется на величину  $l$ . Тогда деформация базиса наблюдения составит:

$$\varepsilon = \frac{l}{L}. \quad (3)$$

Введем прямоугольную систему координат, оси которой направим вдоль оси подготовительной выработки (ось  $x$ ), параллельно лаве (ось  $y$ ) и нормально плоскости напластования пород (ось  $z$ ).

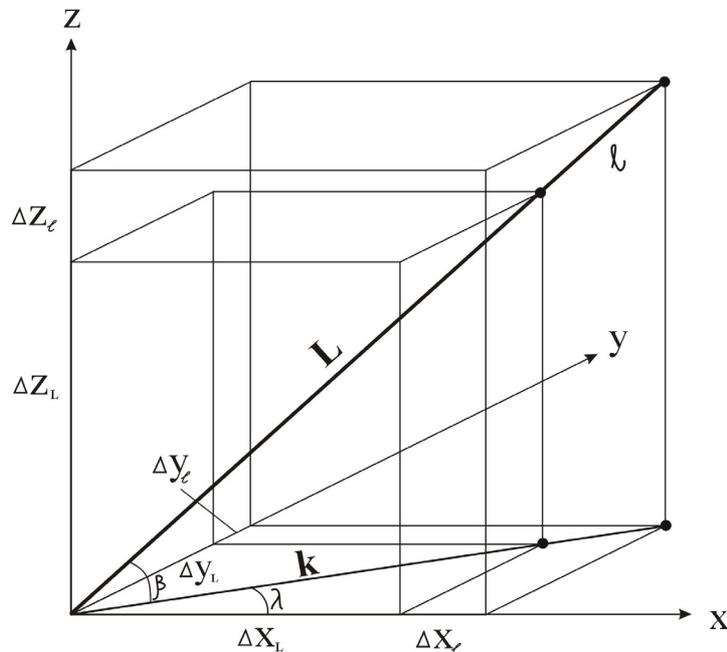


Рис. 4 – Схема к обоснованию параметров ВВК для оценки деформации горного массива в зоне сдвижения

В этой системе координат в направлении оси скважины длина базиса наблюдения вне зоны деформаций равна

$$L^2 = \Delta x_L^2 + \Delta y_L^2 + \Delta z_L^2, \quad (4)$$

а в зоне сдвижения –

$$(L+l)^2 = (\Delta x_L + \Delta x_l)^2 + (\Delta y_L + \Delta y_l)^2 + (\Delta z_L + \Delta z_l)^2, \quad (5)$$

где  $\Delta x_L, \Delta y_L, \Delta z_L$  – соответственно проекции базиса наблюдения на оси  $x, y$  и  $z$ ;  
 $\Delta x_l, \Delta y_l, \Delta z_l$  – соответственно проекции удлинения базиса наблюдения на оси  $x, y$  и  $z$ .

Влияние выемки пласта на сдвигения массива обычно оценивают в направлении подвигания лавы (ось  $x$ ) и в перпендикулярном ему направлении (ось  $y$ ) [5]. Для подработанного деформированного массива проекции базиса наблюдения на эти направления составят:

$$\text{для оси } x - \Delta x_L + \Delta x_l, \quad (6)$$

$$\text{для оси } y - \Delta y_L + \Delta y_l, \quad (7)$$

$$\text{для оси } z - \Delta z_L + \Delta z_l. \quad (8)$$

Деформации  $\varepsilon_x$  в направлении оси  $x$  вычисляются по формуле:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x_l}{\Delta x_L}. \quad (9)$$

Из рассмотрения геометрических элементов схемы на рис. 4 можно получить следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta x_L}{k} = \cos \lambda; \frac{k}{L} = \cos \beta; k = L \cdot \cos \beta; \\ \Delta x_L = L \cdot \cos \beta \cdot \cos \lambda; \\ \Delta y_L = L \cdot \cos \beta \cdot \sin \lambda; \\ \Delta z_L = L \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \beta. \end{aligned} \quad (10)$$

Для приращения базиса наблюдения  $l$  за счет деформации массива имеем соответственно:

$$\begin{aligned} \Delta x_l = l \cdot \cos \beta \cdot \cos \lambda; \\ \Delta y_l = l \cdot \cos \beta \cdot \sin \lambda; \\ \Delta z_l = l \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \beta. \end{aligned} \quad (11)$$

Конструктивно комплекс ВВК имеет ограниченную точность определения положения точек на поверхности скважины  $t$  (мм). В частности, для разработанного комплекса ВВК  $t = 0,025$  мм. С учетом этого точность определения величин  $\Delta x_l, \Delta y_l$  и  $\Delta z_l$  равна соответственно:

$$\begin{aligned} t &= t_{\Delta x} \cdot \cos \beta \cdot \cos \lambda; \\ t &= t_{\Delta y} \cdot \cos \beta \cdot \sin \lambda; \\ t &= t_{\Delta z} \cdot \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \beta, \end{aligned} \quad (12) \quad (13) \quad (14)$$

где  $t_{\Delta x}, t_{\Delta y}, t_{\Delta z}$  – критериальные параметры сдвижения в направлении осей  $x, y$  и  $z$ .

Оценим пределы применимости ВВК для измерения величин деформаций массива  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  и  $\varepsilon_z$  в зависимости от топологии скважины, т.е. от углов  $\lambda$  и  $\beta$ . Для этого нами вычислены произведения тригонометрических функций правых частей уравнений (12) -(14) и сопоставлены с отношениями величины  $t$  к критериальным параметрам сдвижения в направлении каждой из осей координат (рис. 5).

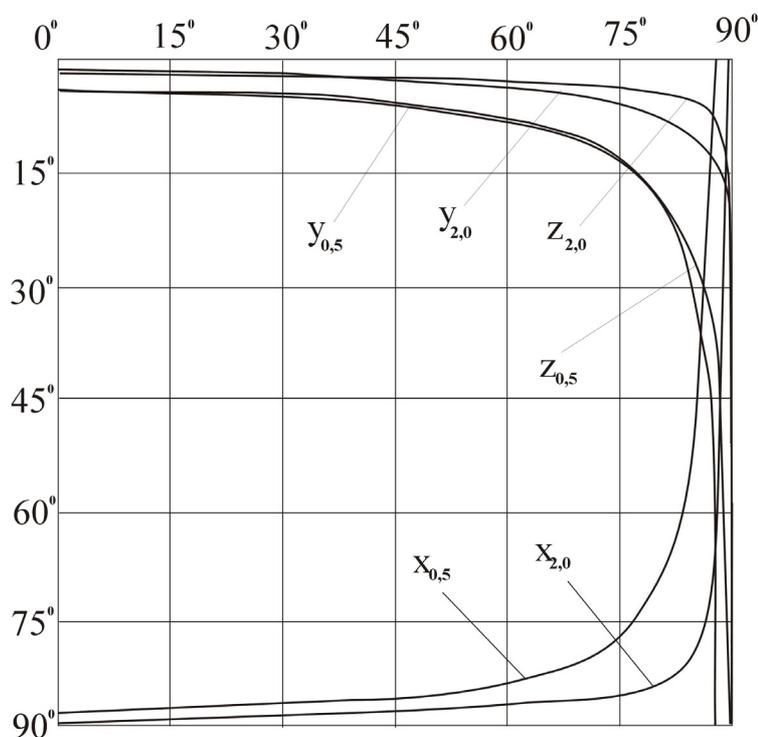


Рис. 5 – Условия применимости комплекса ВВК для определения границ зоны влияния и зоны опасного влияния горных работ по направлению осей  $x$ ,  $y$  и  $z$

На рис. 5 показаны изолинии предельных углов наклона скважины по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$ , при которых оборудование ВВК позволяет определять углы сдвижения (критерии 0,5 мм и 2,0 мм) [5] горного массива. Величины деформаций горного массива относят к середине базиса наблюдения.

Определение деформаций и их динамики является одной из актуальных задач, стоящей перед геомеханикой. Использование комплекса ВВК позволяет с высокой точностью, достоверностью и оперативностью проводить измерение деформационных процессов, протекающих в окружающих выработку породах. Правильные и своевременные исследования деформаций позволят повысить безопасность ведения горных работ, оценить устойчивость горных выработок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцев М.С. Анализ состояния современных технических средств для визуального внутрискважинного контроля состояния горного массива./ Межвед. сб. научных трудов «Геотехническая механика». ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск. - 2004. - Вып.48. - с. 199-205.
2. Методическое пособие по комплексной геофизической диагностике породного массива и подземных

геотехнических систем – Днепропетровск, ИГТМ НАН Украины, 2004. – 75 с.

3. Зайцев М.С. Методика визуального внутрискважинного контроля (ВВК) состояния горного массива. / Межвед. сб. научных трудов «Геотехническая механика». ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск. - 2006. - Вып.62. - с. 85-92.

4. Зайцев М.С. Использование оборудования визуального внутрискважинного контроля (ВВК) для измерения площади видимого раскрытия трещин. / Межвед. сб. научных трудов «Геотехническая механика». ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск. - 2006. - Вып.65. - с. 74-80.

5. Временные технические условия по охране сооружений и природных объектов от влияния подземных горных разработок [Текст]: утв. Минуглепром Украины: ввод в действие 1995. – Донецк: УкрНИМИ, 1995. - 237 с.

**УДК 622.413.4:622.268**

Докт. техн.наук, проф. В.Г. Перепелица,  
м.н.с. С.В.Тынына (ИГТМ НАН Украины)

**К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИХРЕВЫХ  
ОХЛАДИТЕЛЕЙ ПРИ СОЗДАНИИ СИСТЕМ  
КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК  
ГЛУБОКИХ ШАХТ**

В роботі запропонований один з можливих варіантів системи шахтного кондиціонування у вибоях та тупикових виробках на глибині понад 1000 метрів. Розглянуто принцип роботи його головного елемента вихрової труби. Висвітлено рівень досконалості конструкції вихрових труб та ступінь впливу її основних характеристик на долю холодного повітря, яка генерується вихровою трубою.

**TO THE QUESTION ABOUT POSIBILITY OF APPLICATION OF  
VORTICAL COOLERS AT CREATION OF THE SYSTEMS  
CONDITIONING MAKING OF DEADLOCKS TO DEEP MINES**

In this article one of possible variants of the system of conditioning is offered in face and making of deadlocks on depths more than 1000 meters. Principle of action of its basic element vortex tube is considered. The level of perfection of construction of vortex tube and degree of influencing of its basic descriptions is shown on the stake of cold air of generated by a vortex tube.

В настоящее время 55% шахт ведут горные работы на глубинах порядка 1000 м, а к 2010 году около 35 % уйдут на глубины более 1100 м. С увеличением глубины разработки увеличивается температура вмещающих пород, и как следствие, шахтной атмосферы. На реально наблюдаемых глубинах порядка 1000-1200 м эти значения достигают 45-50°C, и существующие системы кондиционирования не могут снизить температуру шахтного воздуха до требуемых Правилами безопасности (ПБ) величин, несмотря на существенные капитальные и эксплуатационные затраты. Повышение температуры воздуха в сочетании с высокой его относительной влажностью наносит ощутимый ущерб здоровью горнорабочих, приводит к снижению безопасности и производительности труда, способствует ухудшению технико-экономических показателей работы шахт, отрицательно влияет на продолжительность жизни шахтеров. На некоторых шахтах тепловой барьер является одним из основных факторов, ограничивающих развитие угледобычи на глубоких горизон-