

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков Н.С., Тартаковский Б.Н., Друкованый М.Ф. Циклично-поточная и поточная технология горных работ для глубоких карьеров Кривбасса. К., Наукова думка, 1972, 200 с.
2. Тартаковский Б.Н., Вишняков В.С., Четверик М.С. и др. Циклично-поточная технология добычи руды на карьерах Кривбасса. К., Техника, 1978, 175 с.
3. Четверик М.С. Вскрытие горизонтов глубоких карьеров при комбинированном транспорте. К., Наукова думка, 1986, 188 с.
4. Четверик М.С., Пивень В.А., Бабий Е.В., Романенко А.В. Перспективные технологии открытой добычи руд в условиях Кривбасса (на примере Ингулецкого ГОКа). У кн. Національний гірничий університет. Форум гірників. Відкриті гірничі роботи. Д., 2006, с. 100 – 111.

УДК [550.8.07/.08:681.518.54]:622.016

В.Г. Перепелица, докт. техн. наук, проф.,
М.С. Зайцев, м.н.с.,
Р.А. Дякун, м.н.с.,
В.Н. Светличный, м.н.с.
(ИГТМ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДЕФОРМАЦИЙ ОБРАЗЦА БАЛКИ ПРИ ИЗГИБЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИК ВИЗУАЛЬНОГО ВНУТРИСКВАЖИННОГО КОНТРОЛЯ (ВВК).

У статті приведені методика визначення динаміки деформацій, приклад лабораторного втілення цієї методики, та послідовний аналіз залучених даних.

RESEARCH OF DYNAMICS OF DEFORMATIONS OF STANDARD OF BEAM AT BEND WITH THE USE OF METHODOLOGIES OF VISUAL INSIDE CONDITION WALLS

In the articles resulted methodology of determination of dynamics of deformations, example of laboratory embodiment of this methodology, and subsequent analysis of the attracted data.

Развитие отдельных принципов контроля состояния горного массива приводит к увеличению достоверности всей получаемой информации о нем. Одним из основных способов получения достоверной информации о состоянии горного массива является визуальный контроль, который предшествует большинству горнотехнических процессов.

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

Разработка метода и обоснование параметров оборудования для ВВК состояния горного массива, предназначенного для работы в шахтных условиях, является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное значение для горнодобывающей отрасли.

Разрабатываемое Институтом геотехнической механики НАН Украины оборудование ВВК в комплексе с другими средствами контроля дает наиболее полную картину состояния горного массива.

Определение динамики деформаций является важнейшей и актуальной задачей, стоящей перед геомеханической наукой. 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, устойчивость горных выработок, увеличить производительность горнорудных предприятий.

Для увеличения информативности получаемых при помощи оборудования ВВК данных был проведен ряд лабораторных исследований, основными целями которых являлось определение:

- максимальной разрешающей способности оборудования без применения дополнительных навесных элементов в виде микроскопов;
- динамики полей деформаций участков образца балки при изгибе;
- параметров работы оборудования при проведении видеосъемки быстро протекающих и медленно текущих процессов.

Визуализация процессов, происходящих в скважинах, пробуренных из выработанного пространства, поможет специалистам составить объективное мнение о состоянии горного массива, его изменениях, вследствие природного и техногенного воздействий.

Методика определения динамики деформаций образца балки при изгибе с помощью оборудования ВВК одним видеодатчиком

Видеодатчик оборудования ВВК устанавливается нормально объективом к поверхности образца.

Видеодатчик имеет разрешающую способность $X_B \times Y_B$ пикселей, систему линз с минимальной дисторсией, сферической и хроматической аберрацией, комой, астигматизмом и кривизной поля, с электронно-оптическим преобразователем в виде СМОР – матрицей с соотношением сторон 4:3.

Для получения истинного значения размеров пикселя, на образец прилагается миллиметровая бумага и фотографируется. Фотоснимок захватывает $X_M \times Y_M$ мм поверхности.

Получить фактический размер сторон прямоугольного пикселя можно из выражений:

$$\begin{aligned} X_M / X_B &= X_{\text{пикс}} \text{ мм} \\ Y_M / Y_B &= Y_{\text{пикс}} \text{ мм}, \end{aligned}$$

где: $X_{\text{пикс}}$ и $Y_{\text{пикс}}$ соответственно высота и длина пикселя.

$X_{\text{пикс}}$ и $Y_{\text{пикс}}$ считается разрешающей способностью и погрешностью исследования и оборудования ВВК.

До проведения исследований рассчитываем теоретический диапазон деформаций образца при заданных режимах нагружения.

Сравнив разрешающую способность и теоретический диапазон деформа-

ций, определяем целесообразность проведения исследований.

Также, сравнивая скорость проведения нагружения на образец со скоростью записи фотоинформации оборудованием ВВК, определяем целесообразность исследований и периодичность работы комплекса.

Выполнив обязательные последние пункты, приступаем к проведению исследований.

После получения фотоинформации проводим анализ динамики деформаций, выбирая набор характерных точек (рис. 1) и их координаты. Для удобства расчетов полученные данные заносим в таблицу 1. Абсолютные координаты рассчитываются относительно какой-нибудь одной характерной точки.

Таблица 1 - Координаты характерных точек абсолютные и приведенные к одной точке

№ рисунка (имя файла)	Нагрузка, создаваемая прессом, Н	Фактические и абсолютные координаты точки №...	Фактические и абсолютные координаты точки №...	-//-
1	2	3	4	5

После заполнения табл. 1 проводится анализ перемещения точек. Рассчитываем, требуемые исследованиями, расстояния между парами характерных точек и относительное удлинение этого расстояния, затем строим графики и проводим анализ.

В тех случаях, когда во время исследований образовались новые трещины, а также присутствуют трещины направленные параллельно или под наклоном к оси нагружения, они пересчитываются дополнительно, максимально применяя методики, описанные в [5-6] для определения площади видимого раскрытия трещин. Затем вычисляются и заполняются для них таблицы, строятся графики и проводится их анализ.

Применяя описанную методику, рекомендуется: для трещин ориентированных параллельно нагрузке, начинать вычисление площади видимого раскрытия трещин с фотографии максимального режима нагружения, а перпендикулярных трещин с фотографии минимального нагружения образца.

Во время исследований возможности оборудования ВВК и методики определения величины раскрытия трещин, использовались различные образцы: угли (Донецк, Павлоград), руда (Кривой Рог), песчаник (Донецк). Нагрузка осуществлялась на прессе типа П-50 одноосным нагружением [4-7].

Пример реализации методики «Определения динамики деформаций образца балки при изгибе с помощью оборудования ВВК одним видеодатчиком» описан ниже.

Образец балки из пескоцементной (соотношение цемента М 300 к песку – 1 к 1,5 по объему) смеси, представляющего собой прямоугольный параллелепипед с габаритными размерами 70x170x55 мм, динамически нагружался перпендикулярно плоскости 170x55 мм. Расстояние между нижними опорами составляет 110 мм. Схема исследований показана на рисунке 1.

Видеодатчик оборудования ВВК с электронно-оптическим преобразователем в виде пластины *СМОР* – матрицы с соотношением сторон 4:3, был установлен перпендикулярно своей осью к оси нагружения, и нормально объективом к поверхности образца, так, что оператору казалось, что нагружение осуществляется снизу-вверх, на уровне 1300 мм по высоте и применен трансформатор. Видеодатчик имеет разрешающую способность 3888x2592 пикселей, 24 бита глубина цвета.

Для получения истинного значения размера пикселя, на образец была приложена миллиметровая бумага и сфотографирована (рис. 2).

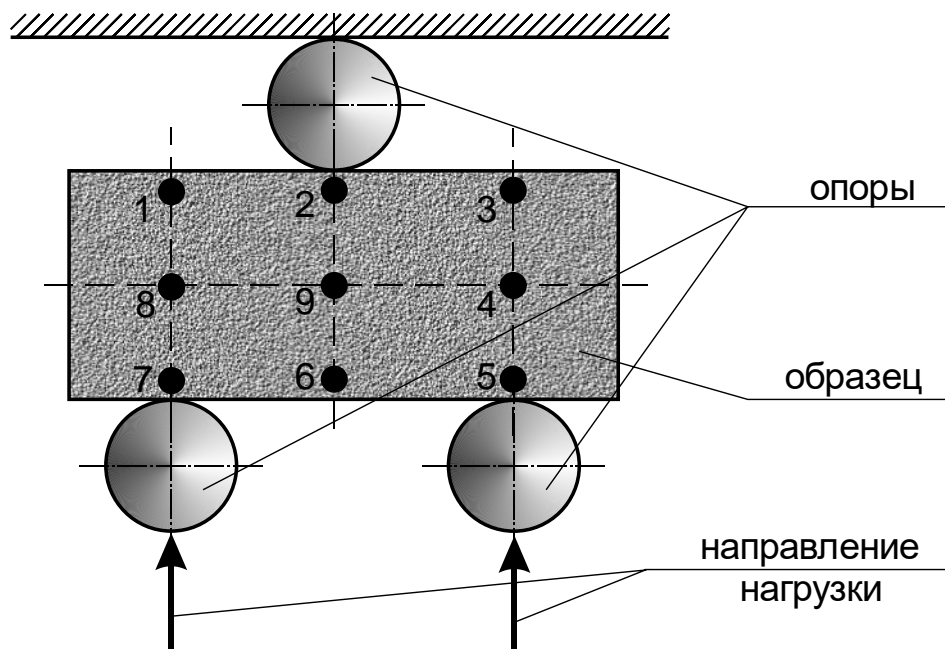


Рис. 1 – Схема исследований образца при нагружении на изгиб, где цифрами обозначены характерные точки, между которыми измерялось расстояние

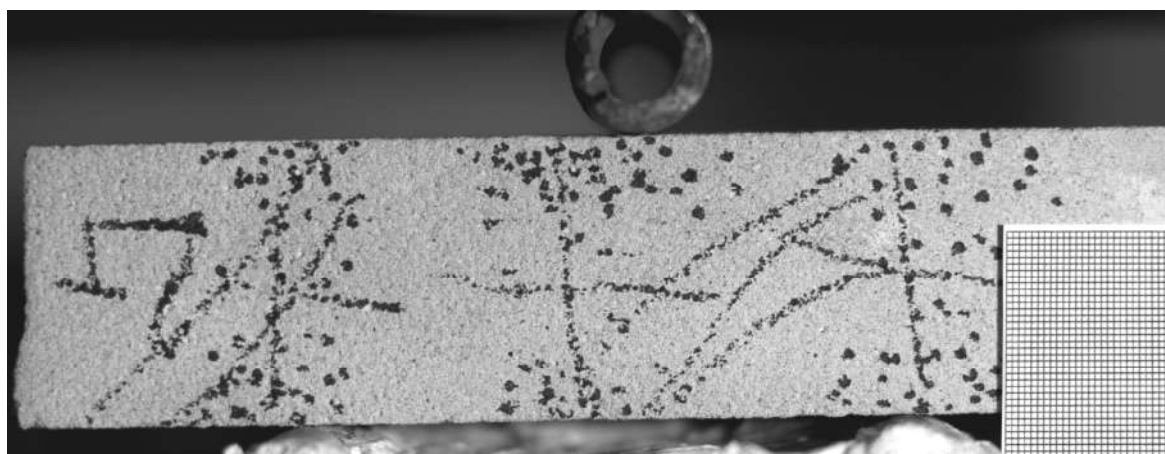


Рис. 2 – Фотография образца на прессе и миллиметровой бумаге, приложенной к образцу

По предложенной методике была вычислена разрешающая способность оборудования ВВК - она составила 0,051 мм.

Благодаря соотношению апертуры и величины оптического поля зрения видеодатчика минимизировались влияния таких явлений, как дисторсия, сферическая и хроматическая aberrация, кома, астигматизм и кривизна поля.

Нагружение образца осуществлялось плавно от нуля до разрушения, что для данного образца составило 584 Н.

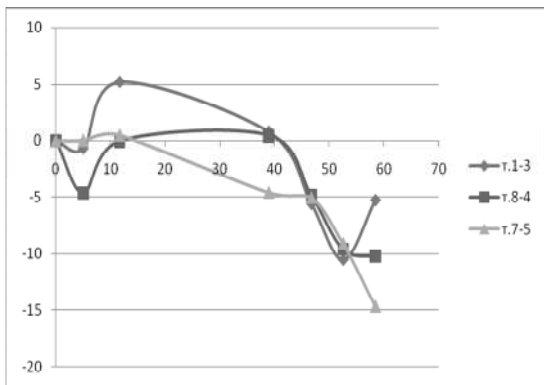
Также по предложенной методике «Определения динамики деформаций образца балки при изгибе с помощью оборудования ВВК одним видеодатчиком», заполнены и вычислены таблицы «Координаты характерных точек (1-9) абсолютные и приведенные к точке» (табл. 2) и «Относительное удлинение между характерными точками» (табл. 3), построены графики относительного изменения расстояний между характерными точками на образце при деформировании на изгиб, где ось абсцисс относительное изменение длин в %*100, а по оси ординат отложена нагрузка в Н/10 (кг) (рис. 3).

В процессе исследований установлено, что для получения оптимальных результатов для данного материала образца с помощью одного видеодатчика, требуется улучшение аппаратной части комплекса ВВК не менее чем в 10 раз, что позволит увеличить точность с 0,05 мм до 0,005 мм. Для этого рекомендуем применять видеодатчик, описанный в работе [6] так как использование 100 мегапиксельного оборудования на сегодняшний день экономически не оправдано.

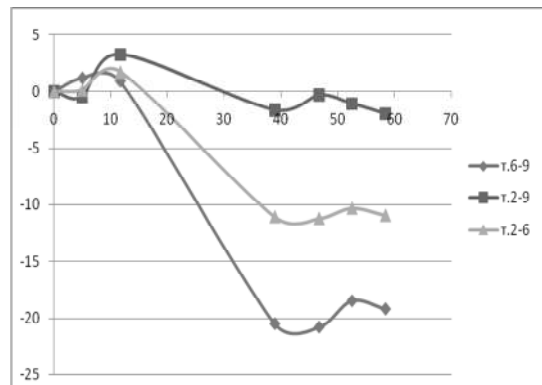
Известно, что при изменениях напряженного состояния горной породы происходят изменения пористости и трещиноватости. Также происходят диссипационные процессы. В связи с этим, происходят неравномерные перераспределения полей деформаций сжатия и растяжения, что видно из графиков, представленных на (рис. 3).

Наиболее характерное изменение полей напряжения показано на (рис. 3а), где видно, что геометрически срединная линия характерных точек 8-4 образца сначала уменьшается (что указывает на проявление деформаций сжатия), затем восстанавливает свою длину и при нагрузках более 400 Н снова уменьшается. То есть, происходит процесс перемещения полей напряжений по вертикали.

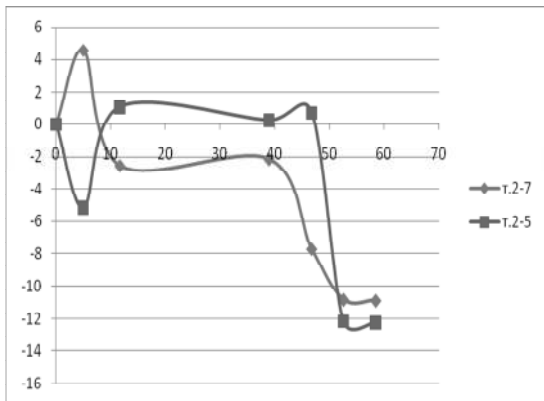
При анализе графика изменения деформаций между характерными точками 8-9 и 9-4 (рис. 3з) видно, что поля напряжений имеют симметричность, причем до 400 Н деформационные процессы противоположны, а после - синхронны. Вышеизложенное говорит о сходимости, но неоднородности полей деформаций по горизонтали образца.



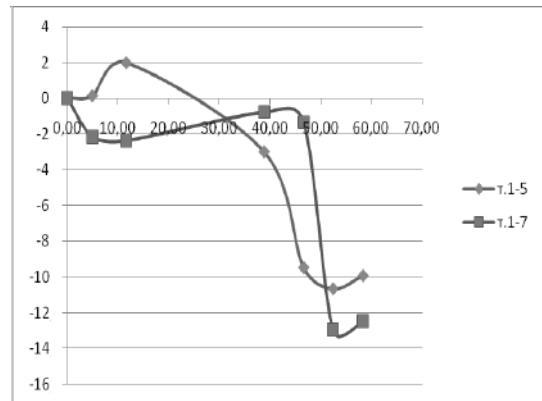
а



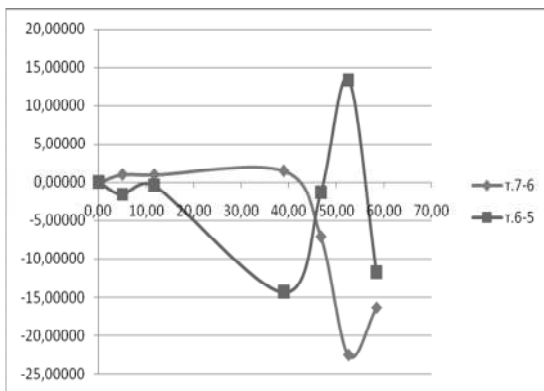
б



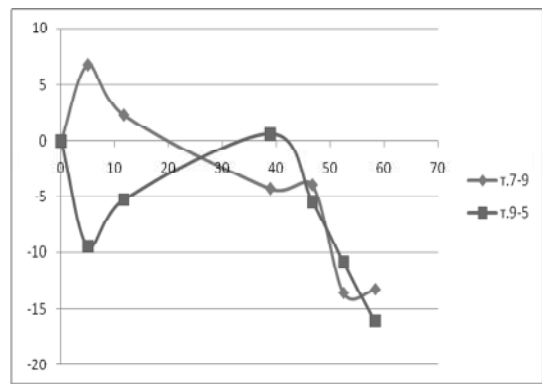
в



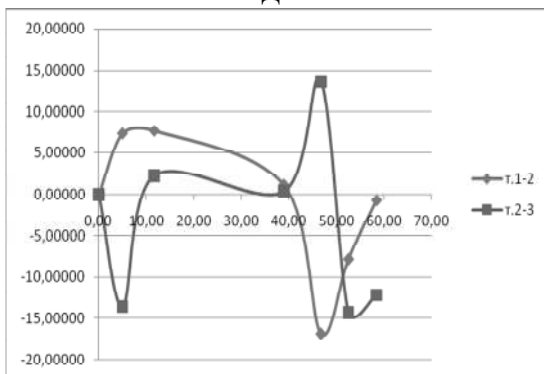
г



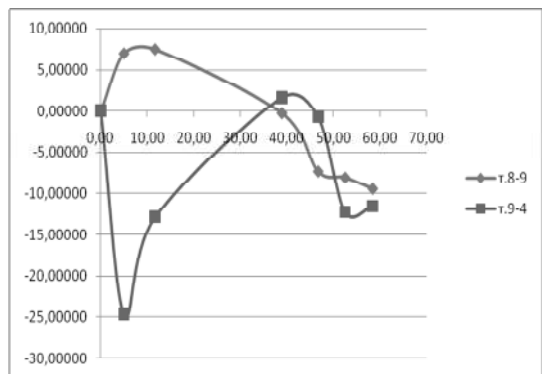
д



е



ж



з

Рис. 3 – Графики относительного изменения расстояний между характерными точками на образце при деформировании на изгиб (где ось абсцисс относительное изменение длин в %*100, а по оси ординат отложена нагрузка в Н/10 (кг))

Таблица 2 – Координаты характерных точек (1-9) абсолютные и приведенные к точке 7

номер снимка	Координаты точки 1, координаты абсолютные и приведенные к точке 7		Координаты точки 2, координаты абсолютные и приведенные к точке 7		Координаты точки 3, координаты абсолютные и приведенные к точке 7		Координаты точки 4, координаты абсолютные и приведенные к точке 7		Координаты точки 5, координаты абсолютные и приведенные к точке 7		Координаты точки 6, координаты абсолютные и приведенные к точке 7		Координаты точки 7, координаты абсолютные и приведенные к точке 7		Координаты точки 8, координаты абсолютные и приведенные к точке 7		Координаты точки 9, координаты абсолютные и приведенные к точке 7	
	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.
1	309,911	597,871	743,063	628,566	1000,600	625,700	1007,400	478,900	1010,200	318,800	750,205	317,745	315,538	304,715	310,974	468,354	750,525	477,926
	-5,627	293,156	427,525	323,851	685,062	320,985	691,862	174,185	694,662	14,085	434,667	13,030	0,000	0,000	-4,564	163,639	434,987	173,211
2	311,027	601,784	743,860	632,483	1001,750	629,900	1008,800	482,800	1011,300	322,700	751,263	321,672	316,641	308,630	312,055	471,956	751,292	481,834
	-5,614	293,154	427,219	323,853	685,109	321,270	692,159	174,170	694,659	14,070	434,622	13,042	0,000	0,000	-4,586	163,326	434,651	173,204
3	310,469	603,700	743,363	633,316	1000,842	630,400	1007,600	483,700	1010,026	323,200	750,018	322,538	315,384	309,838	311,165	473,510	750,395	482,704
	-4,915	293,862	427,979	323,478	685,455	320,562	692,216	173,862	694,642	13,362	434,634	12,700	0,000	0,000	-4,219	163,672	435,011	172,866
4	311,191	606,483	744,347	636,425	1001,871	633,200	1008,600	486,500	1011,400	326,600	751,034	325,250	316,412	312,924	312,195	476,597	751,766	485,758
	-5,221	293,559	427,935	323,801	685,459	320,276	692,188	173,576	694,988	13,676	434,622	12,326	0,000	0,000	-4,217	163,673	435,354	172,854
5	311,230	609,822	745,165	639,799	1002,348	636,600	1009,083	489,800	1011,870	329,700	751,841	328,619	316,844	316,316	312,307	479,988	752,189	489,133
	-5,614	293,306	428,321	323,483	685,504	320,284	692,239	173,484	695,026	13,384	434,997	12,303	0,000	0,000	-4,537	163,672	435,345	172,817
6	310,900	627,063	744,440	657,089	1002,346	654,200	1009,060	507,100	1011,500	346,600	751,851	345,953	316,193	333,231	311,961	496,945	751,869	506,431
	-5,293	293,832	428,247	323,858	686,153	320,969	692,867	173,869	695,307	13,369	435,658	12,722	0,000	0,000	-4,232	163,714	435,676	173,200
7	308,624	653,124	741,854	683,161	999,705	680,300	1006,444	533,500	1009,300	373,000	749,000	372,000	313,610	359,294	309,305	522,972	749,272	532,489
	-4,956	293,830	428,244	323,867	686,095	321,006	692,834	174,206	695,690	13,706	435,390	12,706	0,000	0,000	-4,305	163,678	435,662	173,195

Таблица 3 – Относительное удлинение между характерными точками

номер снимка	отн. удл., %*100 точки 1-2		отн. удл., %*100 точки 1-3		отн. удл., %*100 точки 1-4		отн. удл., %*100 точки 1-5		отн. удл., %*100 точки 1-6		отн. удл., %*100 точки 1-7		отн. удл., %*100 точки 1-8		отн. удл., %*100 точки 1-9		отн. удл., %*100 точки 2-3		отн. удл., %*100 точки 2-4		отн. удл., %*100 точки 2-5		отн. удл., %*100 точки 2-6		отн. удл., %*100 точки 2-7		отн. удл., %*100 точки 2-8		отн. удл., %*100 точки 2-9		нагрузка, Н/10				
	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.	абс.	прив.							
1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		
2	4,52475	-0,65947	0,04754	-5,15383	-4,64515	1,20595	-0,49778	0,12518	7,34531	-9,46164	0,13332	6,72220	-16,46588	-2,16142	7,32129	-13,58899	6,98620	-24,64081	1,02607	-1,61123	5,00000														
3	-2,55385	5,21224	0,49333	1,07773	-0,05312	0,92869	3,22441	1,73032	8,45768	-5,25955	1,98037	2,24728	-9,66337	-2,37026	7,65331	2,23003	7,48307	-12,84981	0,98304	-0,45009	11,68000														
4	-2,15799	0,76482	-4,57346	0,24852	0,43700	-20,49861	-1,64734	-11,05807	-3,67645	0,59874	-3,00711	-4,30889	4,92012	-0,78135	1,11891	0,33989	-0,25564	1,62626	1,50638	-14,32167	38,90000														
5	-7,69778	-5,60093	-5,03847	0,72334	-4,87057	-20,79254	-0,32729	-11,21126	-11,57868	-5,43849	-9,49282	-3,99626	2,88157	-1,36501	-16,83344	13,59145	-7,32026	-0,70148	-7,09861	-1,31180	46,70000														
6	-10,81261	-10,54473	-9,07787	-12,16443	-9,57807	-18,52160	-1,08398	-10,33140	-11,46047	-10,88413	-10,68037	-13,58642	-11,82974	-12,97094	-7,83660	-14,33623	-8,07571	-12,26360	-22,56938	13,35916	52,50000														
7	-10,86922	-5,29065	-14,68356	-12,24639	-10,23173	-19,22264	-1,97519	-10,93596	-4,69763	-16,11130	-9,94609	-13,26911	-11,25999	-12,48377	-0,73225	-12,18876	-9,43259	-11,56744	-16,39839	-11,72245	58,40000														

Подобная, изложенному выше, картина наблюдается и на других образцах. Это доказывает необходимость уточнения процессов перемещения и изменения геометрии полей деформаций сжатия и растяжения в пределах образца. Применение полученных закономерностей, в частности изгибающихся окружающих подземные выработки слоев газонасыщенных горных пород при их подработке и надработке, позволит уточнить процессы газовыделения при неравнокомпонентном напряженном состоянии.

Необходимо продолжить исследования в направлении изучения областей неравнокомпонентных изменяющих свою геометрию полей деформаций, что позволит улучшить контроль динамических процессов проходящих в горном массиве. Применение ВВК - один из самых легко доступных методов изучения изменения напряженно-деформированного состояния образцов горных пород и горного массива. Наиболее полное описание геомеханических процессов позволит повысить безопасность ведения горных работ и увеличит производительность горнорудных предприятий.

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. Перепелица В.Г., Зайцев М.С. Методика определения деформаций горного массива с помощью оборудования визуального внутрискважинного контроля (ВВК). / Межвед. сб. научных трудов «Геотехническая механика». ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск. - 2008. - Вып.77. - С. 147-154.
6. Заявка а200711453 Україна, МПК⁷ G 01 W 8/00, E 21 B 47/01. Электронный эндоскоп [Текст] /Зайцев М.С., Перепелица В.Г. (Україна); заявитель ИГТМ НАН Украины; заявлено 15.10.2007 г.
7. Перепелица В.Г., Зайцев М.С. Методика расчета величин деформаций забоя скважины с использованием оборудования визуального внутрискважинного контроля (ВВК). / Межвед. сб. научных трудов «Геотехническая механика». ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск. - 2009. - Вып.82. - С. 45-49.