

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОРОДНОГО МАССИВА

В.А. Корчемагин, А.В. Никитенко, И.О. Павлов, Донецкий национальный технический университет, Украина

В.В. Ткаченко, шахта «Новодзержинская» МУП Украины

Приведены результаты реконструкции параметров тектонических полей напряжений на шахте «Новодзержинская» (Центральный геолого-промышленный район Донбасса) и их использование для объяснения возможных причин внезапного обрушения пород.

Устойчивость вмещающих пород при подземной разработке месторождений полезных ископаемых зависит от многих факторов. Основными среди них являются физико-механические свойства пород и напряженное состояние горного массива.

Земные недра находятся в напряженном состоянии. На горные породы действуют различные по своей природе силы. Прежде всего, они находятся в поле силы тяжести и испытывают действие литостатической нагрузки, которая обусловлена весом толщи самих пород. На глубине H напряжение, вызываемое этой нагрузкой, выражается тензором, у которого ось сжатия $\sigma_3 = \rho * g * H$ ориентирована вертикально, а две другие оси горизонтальны [1]:

$$\sigma_2 = \sigma_1 = \sigma_3 * \frac{\nu}{1-\nu}, \quad (1)$$

где ν - коэффициент Пуассона породы (предполагается, что порода изотропна по упругим свойствам).

Напряженное состояние массива, обусловленное этими массовыми силами, называется нормальным. На это поле литостатической нагрузки могут накладываться техногенные (обусловленные горными работами) и тектонические напряжения.

Многочисленные непосредственные измерения напряжений в горных выработках во многих регионах показывают, что реальное напряженное состояние массива отличается от нормального. Во-первых, горизонтальные напряжения сжатия во многих местах значительно превышают величину $\rho * g * H$ (на 10-50 МПа), то есть в 2-3 раза выше боковых напряжений, рассчитанных по формуле (1). Во-вторых, определение пространственной ориентировки главных осей эллипсоида напряжений для многих участков консолидированной коры указывает на их отклонение в 60 % случаев от вертикального и горизонтального положения на угол до 30°, причем максимальное главное нормальное напряжение чаще всего ориентировано ближе к горизонтали, чем к вертикали. Подобное напряженное состояние горного массива может объясняться присутствием в нём тектонических напряжений.

Наличие современных тектонических движений и, соответственно, напряжений в Донбассе было установлено как по результатам повторных высокоточных нивелировок на поверхности, так и по инструментальным замерам в горных выработках шахт [2-6]. В отличие от горного давления тектонические напряжения распределяются неравномерно, они могут концентрироваться по отдельным слоям и узлам. В связи с этим возможны местные концентрации напряжений, часто приуроченные к некоторым участкам активизированных или вновь возникающих разрывов. Такие концентрации могут проявляться в горных выработках в виде усиления горного давления или же газодинамических явлений. В подобных зонах, как показали натурные наблюдения, интенсивно проявляются сколовые (сдвиговые) напряжения, которые могут вызывать косо направленные нагрузки, резко понижающие несущую способность крепи. В зависимости от направления продольной оси выработки относительно направления вектора активных тектонических сил, концентрация напряжений возле контура может существенно различаться. Поэтому при расчетах напряженного состояния горного массива необходимо учитывать и тектоническую составляющую этих напряжений.

Действовавшие и действующие в горном массиве напряжения могут изучаться различными инструментальными и структурными методами. Одни из них позволяют определять параметры полного тензора напряжений, другие – лишь отдельные из этих параметров. Инструментальные методы обычно характеризуют суммарные поля напряжений, которые существовали в горном массиве на момент их определения, структурные – поля уже реализованные в различных деформациях. При этом инструментальные определения характеризуют поля напряжений самого низкого структурного уровня, действующие в локальных объёмах массива. Структурные методы позволяют реконструировать тектонические поля напряжений самого разного уровня.

Используемые в настоящее время структурные способы основаны на взаимосвязи величин главных напряжений с микро- и макродеформационными структурами (направлением деформирования минеральных зёрен, трещинами, зеркалами скольжения, складками и т.п.). Существует множество структурных методик, позволяющих реконструировать параметры действовавших в горном массиве тектонических полей напряжений по различным деформационным элементам пород. Наиболее простой и универсальной, на наш взгляд, является методика кинематического анализа трещинно-разрывных структур, разработанная О.И. Гущенко (ИФЗ РАН) [7, 8] и усовершенствованная В.А. Корчевагиным (ДОНТУ МОН Украины). В качестве основных параметров тектонических движений в этой методике используются ориентировки векторов сдвиговых смещений и ориентация в пространстве самих сместителей сколовых трещин. Это позволяет использовать для реконструкции параметров полей напряжений всю совокупность разрывов и ослабленных поверхностей, по которым происходили подвижки при тектонических процессах. Основными параметрами восстановленных тектонических полей напряжений при этом являются: пространственная ориентировка осей главных нормальных напряжений (σ_1 – максимальных растягивающих, σ_3 – максимальных сжимающих и σ_2 – промежуточных), а также коэффициент μ_σ , отражающий вид напряженного состояния при котором происходили тектонические деформации. Абсолютные значения напряжений этой методикой не определяются.

Коэффициент μ_σ может меняться от +1 (при одноосном сжатии) до –1 (при одноосном растяжении).

$$\mu_\sigma = 2 * \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} - 1, \quad (2)$$

Процесс решения задачи и нахождения пространственной ориентации осей главных нормальных напряжений ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$), а также соотношений величин девиаторной части тензора (коэффициента μ_σ) может осуществляться аналитически или с помощью простых графических построений на сетке стереографических проекций. При этом реконструкции могут производиться на трёх структурных уровнях:

- локальном (в пределах отдельного обнажения, горной выработки);
- мезорегиональном (шахтное поле, группа шахт);
- региональном (регион в целом).

Ниже авторами сделана попытка использовать подобные реконструкции для объяснения причин катастрофического обрушения пород в лаве пласта l_5 на шахте «Новодзержинская» в Центральном Донбассе.

Шахта "Новодзержинская" ведёт работы в самой западной части Центрального геолого-промышленного района Донбасса. В структурном плане шахтное поле приурочено к западному периклинальному замыканию Горловской антиклинали (рис. 1). В зоне замыкания складки породы плавно изгибаются с изменением простирания от субширотного до субмеридионального, а затем до юго-восточного. Погружение пород на север-северо-запад и на юго-запад. Углы падения в пределах шахтного поля изменяются от 30-35 до 10-12 градусов.

От крутопадающих крыльев антиклинали шахтное поле отделяется крупными разрывами. Его северной границей является Алмазный сброс северо-западной ориентировки с крутопадающим на север сместителем. Юго-восточной - широтный Главный надвиг, сместитель ко-

ствования, содержит многочисленные мелкие прослойки и линзочки сидеритизированного материала. На участке работ аргиллит слабо трещиноват за счёт преимущественного развития трещин «эндокливажа» (первичных или «нормальносекущих»). Преобладают крутопадающие (70-80°) трещины субмеридиональной ориентировки, в целом, ортогональные забою лавы.

Нижняя часть аргиллитовой пачки (мощностью 0,7-0,9 м) считается непосредственной кровлей, относится к неустойчивым (категория Б2) и обычно легко обрушается. Однако, как было установлено при расследовании причин аварии, в данном случае непосредственная кровля повела себя аномально. Произошло зависание, а затем одновременное обрушение пород непосредственной кровли на большой площади. При этом породы смещались не отдельными блоками, а как единое плитообразное тело мощностью до 2 м. При обследовании завала, было установлено, что этот массив отделяется от основной кровли чёткой послойной плоскостью. При обрушении плита раскололась на блоки по системе субпараллельных нормальносекущих трещин. Таким образом, эти породы, отделенные от основного массива чёткой межпластовой плоскостью и разбитые на блоки продольными трещинами первичной отдельности в обычных условиях не могли бы образовывать плитообразный монолит и зависать на значительной площади над отработанной полостью. Они должны были отслаиваться и обрушаться по мере подвигания лавы в виде призматических блоков, ограниченных трещинами отдельности. Даже если бы в силу тех или иных причин (например, несоблюдения паспорта крепления) произошёл завал лавы, то с учетом этих особенностей непосредственной кровли он носил бы локальный характер. То есть причина аварии в том, что непосредственная кровля на участке работ повела себя аномально, как единый монолит.

Возможной причиной подобного аномального поведения непосредственной кровли, на наш взгляд, может являться наличие в горном массиве определенным образом ориентированных тектонических напряжений. В настоящее время как для Донбасса в целом, так и для Центрального геолого-промышленного района имеются реконструкции параметров тектонических полей напряжений различного возраста, выполненные различными структурными способами (рис. 2).

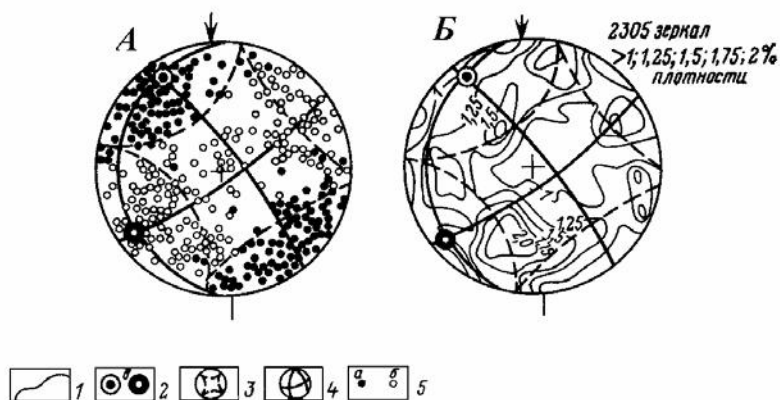


Рис. 2. Характеристика поля напряжений альпийского этапа (неотектонической активизации Донбасса). А – реконструкция регионального поля напряжений (для Горловской антиклинали), Б – сводная стереограмма полюсов зеркал скольжения для Никитовского рудного поля (по [9, 10]): 1 – изолинии плотности полюсов зеркал скольжения; 2 – оси главных нормальных напряжений регионального уровня (а – σ_3 , б – σ_1); 3 – конические поверхности; 4 – плоскости действия главных нормальных напряжений; 5 – оси локальных нормальных напряжений (а – σ_3 , б – σ_1).

Достоверно утверждать, что подобное же по своим параметрам поле тектонических напряжений действует в горном массиве района и в настоящее время нельзя, так как непосредственные инструментальные замеры напряженного состояния массива в выработках шахты не проводились. Но всё же, есть все основания предполагать, что в горном массиве в районе

западного замыкания Главной антиклинали действуют современные тектонические напряжения. Поле шахты находится в пределах выделенной Г.А. Коньковым зоны современных контрастных (знакопеременных) тектонических движений (рис. 3). Так, восточнее в районе Горловки по результатам повторных высокоточных нивелировок фиксировались восходящие движения земной поверхности с интенсивностью до 3-4 мм/год. Западнее, в районе Константиновки и Дружковки фиксировались нисходящие движения с интенсивностью 2-4,5 мм/год [2, 3].

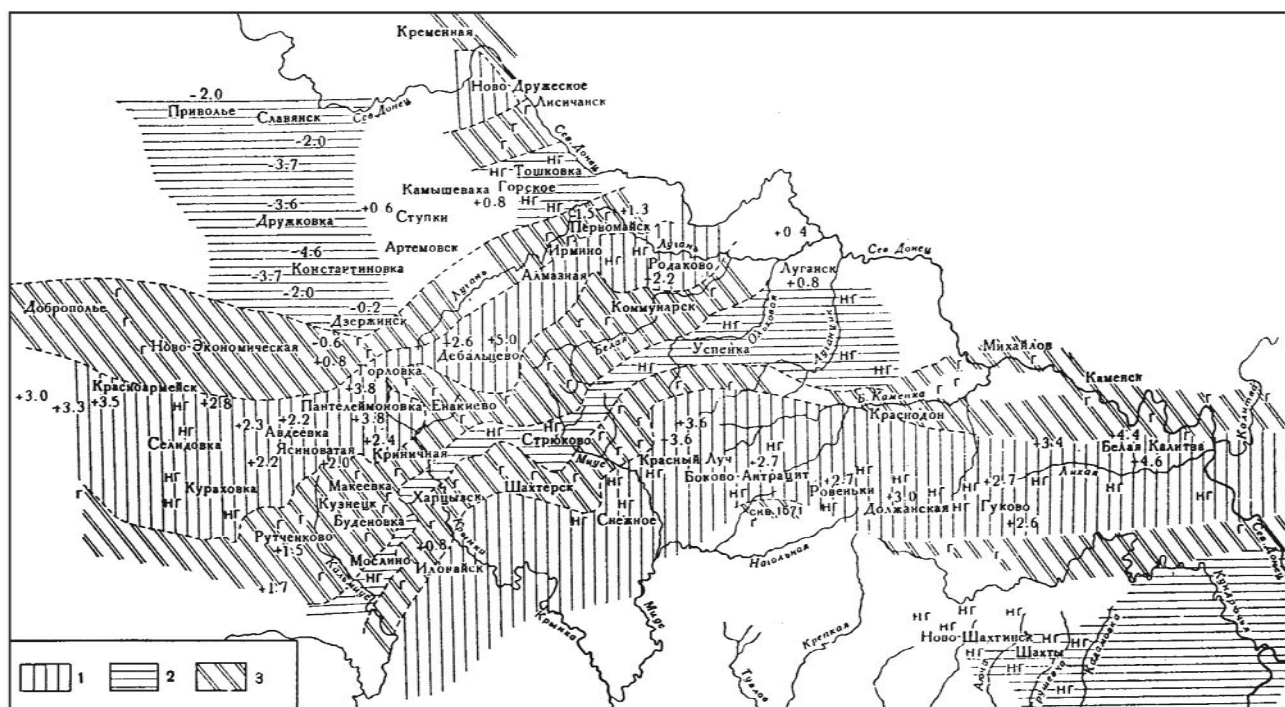


Рис. 3. Зоны современных тектонических движений Донбасса и распределение газоносности угольных пластов. 1 – зоны современных поднятий (негазоносные или слабогазоносные), 2 – зоны современных относительных опусканий (негазоносные или слабогазоносные), 3 – зоны современных контрастных движений (газодинамические). Г – группа газовых шахт и скважин, НГ – группа негазовых или слабогазовых глубоких шахт и скважин, цифры на карте – средняя скорость современных тектонических движений по старым железнодорожным реперам (в миллиметрах в год).

В своё время, авторами проводились замеры тектонической трещиноватости с целью реконструкции параметров тектонического поля напряжений на различных участках шахтного поля. В результате эти параметры были восстановлены более чем в 50 локальных объёмах горного массива на разных пластах и горизонтах шахты. Суммарное поле в целом аналогично восстановленному региональному альпийскому полю (рис. 1 а, б): ось сжатия σ_3 – аз. пад. $312^\circ \angle 10^\circ$, ось растяжения σ_1 – аз. пад. $46^\circ \angle 24^\circ$. На локальном уровне восстановленное поле характеризуется значительной изменчивостью своих параметров (рис. 4 б-г). В пласте l_5 в относительной близости от аварийного участка имеются три точки реконструкции параметров тектонического поля напряжений (см. рис. 5). Реконструкции выполнялись на сетке стереографических проекций с использованием методики Гущенко – Корчемagina. Коэффициент μ_σ вычислялся по формуле:

$$\mu_\sigma = \frac{(n_3 * m_3 - n_1 * m_1)}{(n_1 * m_1 + n_3 * m_3)}, \quad (3)$$

где $n_{1,3}$, $m_{1,3}$, - направляющие косинусы осей главных нормальных напряжений;
 n – нормаль к плоскости разрыва;
 m – бинормаль к векторам n и t (нормаль к кинематической плоскости);

t – вектор в направлении сколовой подвижки (ориентировка штрихов).

Точка 1 находится в откаточном штреке 71-585. Восстановленное здесь поле характеризуется следующими параметрами: ось максимального сжатия σ_3 близгоризонтальна – аз. пад. $172^\circ \angle 5^\circ$, ось растяжения σ_1 – аз. пад. $270^\circ \angle 52^\circ$. Коэффициент $\mu_\sigma = +0,6$, то есть напряженное состояние близко к одноосному сжатию. Точка 2 – в лаве 71-530 о/х №2 (840 м от квершлага). Восстановленное в этом районе поле имеет следующие параметры: ось σ_3 – аз. пад. $346^\circ \angle 40^\circ$, ось σ_1 – аз. пад. $82^\circ \angle 6^\circ$, коэффициент $\mu_\sigma = -0,28$. Т.о. в этой точке поле сдвиговое (двухосное напряженное состояние), с небольшим растяжением. Точка 3 находится в вентиляционном штреке 71-452 откаточного хода (~160 м). Здесь восстановлено тектоническое поле напряжений со следующими параметрами: ось σ_3 – аз. пад. $285^\circ \angle 20^\circ$ и ось σ_1 – аз. пад. $185^\circ \angle 18^\circ$, коэффициент $\mu_\sigma = -0,02 \div -0,2$. Напряженное состояние близко к чистому сдвигу.

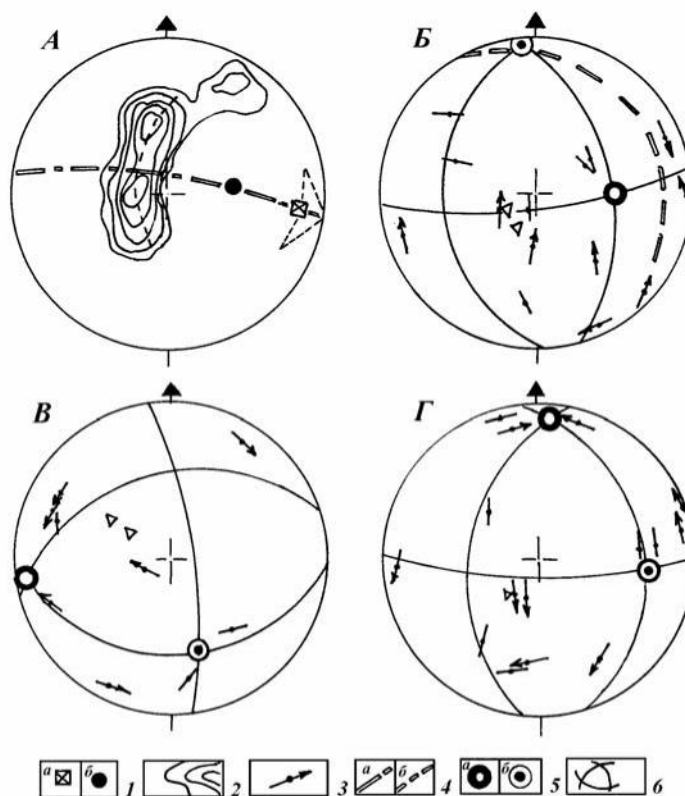


Рис. 4. А – суммарная диаграмма распределение полюсов напластования на участке работ; Б, В, Г – реконструкции тектонических полей напряжений соответственно в точках 1, 2, 3. Проекция на верхнюю полусферу стереограммы: 1 – шарнир (а) складки и ось конуса (б); 2 – изолинии плотности распределения полюсов напластования; 3 – полюс разрыва и направление смещения висячего крыла; 4 – осевая (а) плоскость складки и плоскость напластования (б); 5 – оси напряжений: растяжения (σ_1) (а) и сжатия (σ_3) (б); 6 – плоскости действия главных нормальных напряжений.

Таким образом, восстановленное вблизи аварийного участка поле напряжений, характеризуется субгоризонтальной ориентировкой оси максимального сжатия. Эта ось ориентирована близко к меридиану, лежит в плоскости пласта и ортогональна забою лавы. Ось растяжения, напротив, имеет широтную ориентировку и круто наклонена к западу (рис. 5).

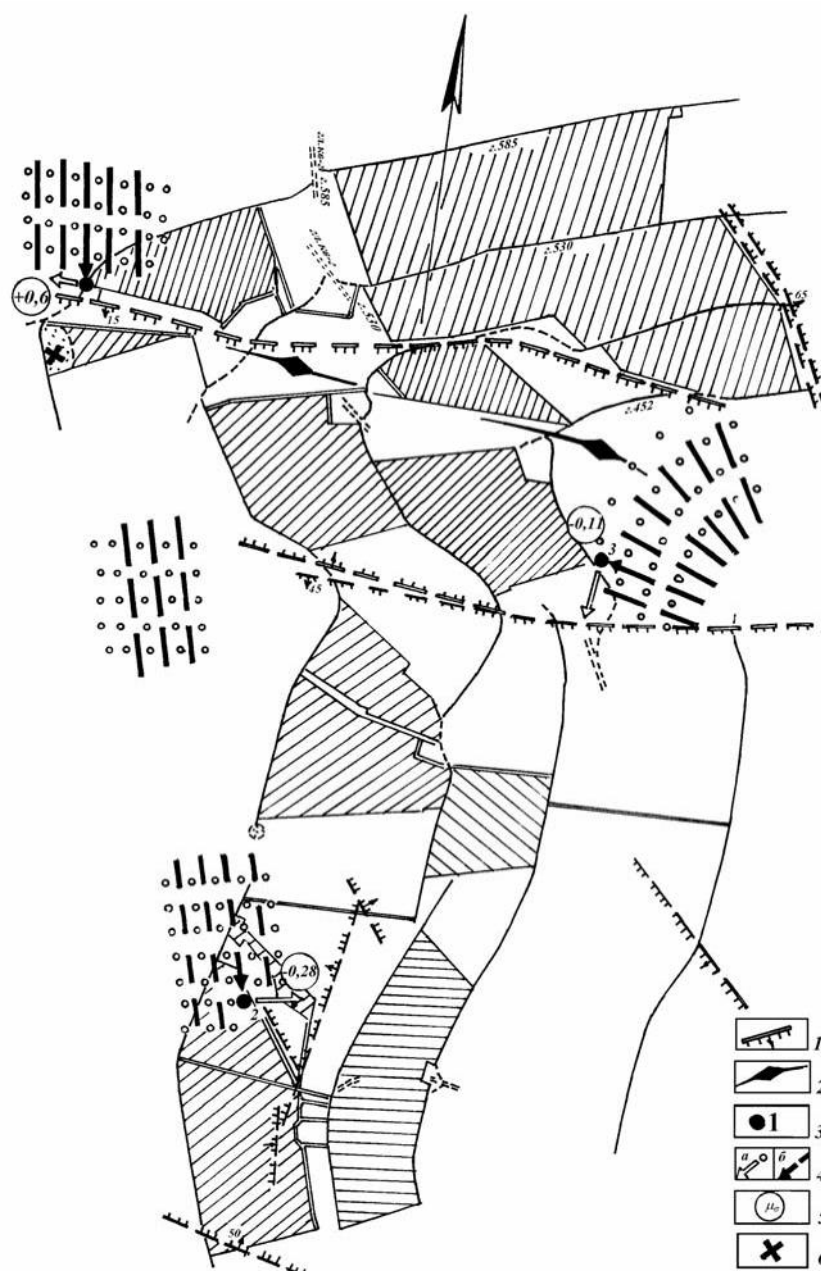


Рис. 5. Выкопировка с плана горных работ по пл. l_5 .

1 – тектонические нарушения; 2 – ось брахиантиклинали; 3 – точки реконструкций тектонофизических параметров; 4 – траектории осей главных нормальных напряжений: а – растяжения, б – сжатия; 5 – значение коэффициента μ_0 ; 6 – место аварии.

При подобной ориентировке осей главных напряжений тектонического поля пологие межпластовые трещины могут приоткрываться, развиваясь, как трещины отрыва. В тоже время, крутопадающие продольные и поперечные трещины «эндокливажа», которые наряду с трещинами пластовой отдельности и обуславливают блоковое строение непосредственной кровли, в этом поле остаются закрытыми (тектоническое сжатие перпендикулярно их стенкам). В этом случае непосредственная кровля будет представлять собой монолитное тело, разделённое скрытыми первичными трещинами на ряд призматических блоков и отделённое от пород основной кровли постепенно приоткрывающимися трещинами пластовой отдельности. В силу продольной тектонической зажатости она приобретает несущую способность как единое целое (плита, балка). При подвигании лавы этот массив разгружается от всестороннего давления и до определённого момента может находиться в равновесии и висеть (без прогибания и существенных деформаций) над выработанным пространством. Однако после

того как суммарный вес этой зависшей плиты превысит величину тангенциальных тектонических напряжений, неизбежно её резкое обрушение (возможно в форме горного удара). По-видимому, реализация подобного механизма и привела к произошедшей аварии.

В целом, можно констатировать, что в зоне западного замыкания Главной антиклинали Донбасса породы находятся под воздействием тектонических напряжений. Оси главных нормальных напряжений этого поля лежат в близгоризонтальной плоскости, а коэффициент μ_σ , отражающий вид напряженного состояния, близок к 0 (сдвиговое поле).

Таким образом, проведение замеров тектонической трещиноватости с целью реконструкции параметров тектонического поля напряжений на различных участках шахтного поля может являться важным фактором для оптимального ведения горных работ.

Список литературы

1. Динник А.Н. Избранные труды. – Киев: Изд-во АН УССР, 1956. – 307 с.
2. Коньков Г.А. Зависимость горного давления от современных тектонических движений и напряжений. // Уголь Украины. – 1965. - №11. – С.20-21.
3. Коньков Г.А. О связи новейших и современных тектонических движений с метанодносными и выбросоопасными зонами в условиях Донецкого бассейна. // Док. АН СССР. – 1962. – т.143. - №3. – С.670-673.
4. Галушко П.Я. Результаты исследований напряжений в массиве горных пород. // Изв. ВУЗов, Горный журнал. – 1968. - №11. – С.22-25.
5. Недашковский И.В., Недвига С.Н. Исследования напряженного состояния выбросоопасных пластов методами гидроразрыва и разгрузки. // Вопросы теории выбросов угля, пород и газа. – Киев: Наукова думка, 1973. – С.47-80.
6. Зубарев Ю.П., Шестаков Г.П. О повышенных напряжениях в зоне тектонических нарушений. // Измерения напряжений в массиве горных пород. – Новосиб.: Наука, 1974 – С.125-127.
7. Гущенко О.И. Анализ ориентировок сколовых тектонических смещений и их тектонофизическая интерпретация при реконструкции палеонапряжений. // Док. АН СССР. - 1973 – т.210. - №2. – С.331-334.
8. Гущенко О.И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции тектонических полей напряжений. // Поля напряжений и деформаций в литосфере. – М.: Наука, 1979. – С.7-25.
9. Корчемагин В.А., Емец В.С. Особенности развития тектонической структуры и поля напряжений Донбасса и Восточного Приазовья. // Геотектоника. – 1987. - №3. – С.49-55.
10. Корчемагин В.А., Рябоштан Ю.С. Тектоника и поля напряжений Донбасса. // Поля напряжений и деформаций в земной коре. – М.: Наука, 1987. – С.164-170.