

В.В. Лукинов, Л.И. Пимоненко, Перепелица В.Г.,
Шматовский Л.Д. (ИГТМ НАН Украины),
Д.П. Гуня (АП шх. им. А.Ф. Засядько)

РОЛЬ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА В ФОРМИРОВАНИИ РАЗРЫВНОЙ НАРУШЕННОСТИ НА ШАХТЕ им. А.Ф. ЗАСЯДЬКО

На шахті ім. О.Ф. Засядька на підставі зміряних параметрів головних складових сучасного поля напруг вперше проведені аналітичні дослідження вуглепородної товщі, показано, що при однаковому орієнтуванні напруг з глибиною відбувається зміна напруженого стану масиву. Виділено три області, що характеризуються різним напруженим станом і характером руйнування, теоретично розраховані: азимут простягання одиночної тріщини і обґрунтована можливість утворення розривних порушень, під дією зміряних напруг; показано відповідність теоретичних результатів реальним геологічним умовам.

ROLE OF STRESSED STATE OF THE COAL-ROCK MASSIF IN FORMATION OF DISJUNCTIVE DISLOCATION IN THE A.F. ZASYADKO'A MINE

On the basis of measured parameters of the key components of the modern stress field, a pioneer analytical research was used for studying the coal-contained thickness; the evidences of the fact that at the same orientation of stresses, the massif's stressed state is changed with changing depth, are represented; three areas featured different stressed states and character of destruction are specified; theoretical calculations are given for azimuth of single crack, and possibility of formation of disjunctive dislocations under the impact of measured stresses is justified; conformity between theoretical results and real geological conditions is demonstrated.

Одним из основных факторов, влияющих на эффективность и безопасность ведения горных работ, является напряженное состояние массива. В исследовании напряженного состояния массива существует три направления. К первому относятся натурные измерения современного напряженного состояния массива горных пород; второму – тектонофизические методы реконструкции полей палеонапряжений и деформаций, существовавших в массиве при формировании дислокаций; третьему – аналитические исследования напряженного состояния массива горных пород, базирующиеся на механике сплошных сред.

На поле шахты им. А.Ф. Засядько О.А. Кушем [1] проведена реконструкция полей палеонапряжений и деформации, на этой же шахте проведены натурные измерения напряженного состояния массива методом локального гидравлического разрыва (ЛГР) [2], которые позволяют по экспериментально измеренным данным определять численные значения и направления осей главных нормальных составляющих современного поля напряжений. Измеренные параметры главных компонент поля напряжений явились основой для проведения аналитических исследований напряженного состояния массива, результаты которых приведены в данной статье.

Для оценки напряженного состояния массива в горных выработках шахты им. А.Ф. Засядько измерения проводились в 10-м западном откаточном штреке пласта I₁ на глубине 1000 м. Измерения проводились на 5 пикетах по

4 измерения на каждом. По полученным данным рассчитаны средние величины параметров главных компонентов поля напряжений (табл. 1).

Таблица 1 – Параметры главных компонентов поля напряжений на шахте им. А. Ф. Засядько

Наименование шахты	Глубина измерений, м	Главные компоненты действующего поля напряжений, МПа			Октаэдрическое напряжение, МПа	Ориентация оси σ_1 относительно простирания пород
		σ_1	σ_2	σ_3	σ_0	
им. А.Ф.Засядько	1000	51	28	19	32,7	вкрест простирания пород

Параметры главных компонент поля напряжений свидетельствуют о трехосном напряженном состоянии массива. Результаты оценки направления главных напряжений, определяемые по их пространственной ориентации в гидро-разрывных интервалах измерительных скважин при помощи перископического устройства РВП 456, показали, что большая компонента σ_1 примерно ориентирована вкрест простирания горных пород (азимут 180 - 190°). Направление меньшей горизонтальной компоненты σ_3 субпараллельно линии простирания пород, а составляющая σ_2 – субвертикальна. Земной поверхности с отклонением от нормали к ней не больше 15° [2]. Величина максимальной горизонтальной составляющей - σ_1 , изменяющаяся от 44,5 до 60 МПа, – в 1,6 – 2,1 раза превышает давление вышележащих пород. Вторая главная горизонтальная составляющая - σ_3 изменяется от 18 до 21 МПа и в среднем не превышает 0,75 γH на данной глубине измерений. Величина вертикальной составляющей - σ_2 – примерно соответствует давлению вышележащих пород.

По мнению авторов [3] измеряемое поле напряжений создается преобладающими горизонтальными напряжениями, связанными с геодинамическими процессами, и гравитационной нагрузкой вышележащих пород; оно прямо пропорционально величине современных движений, обратно - палеонарушенности. Измеренное поле совпадает с глобальным. По данным И.И. Чебаненко [4] оси главных нормальных напряжений на площади Восточно-Европейской плиты в неогене имеют следующие простирания: σ_1 - 358° (178°), σ_3 - 88°. Сейсмотектоническое поле напряжений [5] и схема ориентации главных осей напряжений (по А.В. Введенской), приведенная в работе [6], показывают, что в пределах Донбасса, восточнее Кальмиус-Джигинского разлома, преобладают субмеридиональные сжимающие напряжения. По данным О.А. Куца [1], полученным на основании кинематического анализа разрывных нарушений, современное тектоническое поле Донецко-Макеевского района диагонально к общедонецкому простиранию складчатости Донбасса: ось σ_1 имеет субмеридиональное простирание, σ_3 – субширотное, а ось σ_2 близка к вертикали. Измеренное в пределах шахты им. А.Ф. Засядько поле напряжений согласуется с установленным

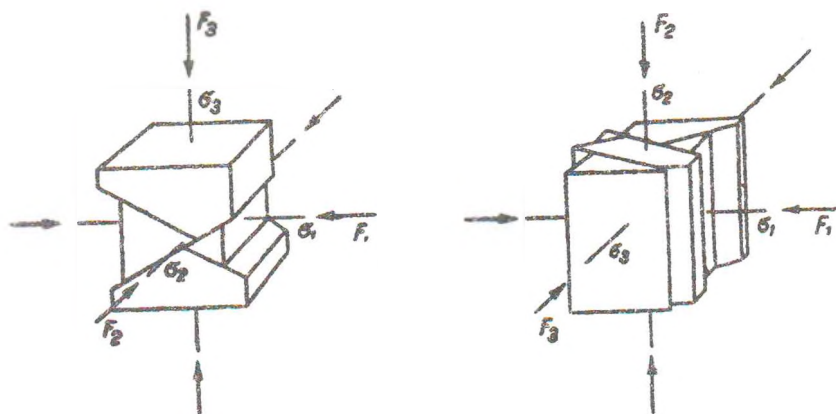
для Донбасса и для Донецко-Макеевского района региональным полем, что свидетельствует о правильности определения направлений главных компонент действующего поля напряжений и позволяет предположить, что такие направления и величины главных напряжений характерны для всей углевмещающей толщи поля шахты.

На основе измеренных данных, проведены аналитические исследования напряженного состояния массива. При этом предполагается, что исследуемый массив является однородным и изотропным. Исходя из того, что напряжения являются мерой внутренних сил, возникающих под действием совокупности приложенных внешних глобальных тектонических сил и процессов, величины и направления которых (исключая действие техногенных процессов) в течение длительного времени (около 10^5 тыс. лет) существенно не изменяются, можно предположить, что естественное напряженное состояние в пределах отдельного тектонического блока в неогене сохраняется. Если с глубиной давление вышележащих пород закономерно увеличивается (γH), а величины горизонтальных напряжений (σ_1 и σ_2) сохраняются, то существует определенная глубина – $H_{пр.}$, на которой величина давления вышележащей толщи (σ_2) будет равна минимальной горизонтальной составляющей (σ_3). Выше этой глубины $\sigma_2 < \sigma_3$, ниже – $\sigma_2 > \sigma_3$. То есть при сохранении пространственного положения направлений на различных глубинах происходит изменение величин главных нормальных напряжений или «переиндексация» осей (термин К.Ж. Семинского [7]). Разделив σ_3 на γ получим $H_{пр.}$, которая в пределах поля шахты им. А.Ф. Засядько находится на глубине 720 – 880 м (для примера на шахте им. А.А. Скочинского эта глубина примерно равна 961 м, на шх. им. Ю.А. Гагарина – 650 м). Однако литолого-фациальный состав углевмещающей толщи слишком изменчив по площади и с глубиной, поэтому более логично рассматривать не границу, а некоторую область, которая предположительно расположена в интервале $H_{пр.} \pm 100$ м. Следовательно, на основании проведенных измерений и аналитических расчетов в пределах поля каждой шахты можно выделить три области, характеризующиеся разным напряженным состоянием и характером трещинообразования.

Так для шахты им. А.Ф. Засядько напряжения σ_2 и σ_3 в средней области (620 – 980 м) характеризуются одинаковой величиной во всех направлениях, перпендикулярных σ_1 , за счет этого в массиве могут происходить изменения ориентировки направлений и искривление разрывов [8] (например искривление плоскостей сместителей Григорьевского и Глубинного надвигов происходит именно на этих глубинах). Для области расположенной выше характерно преимущественное распространение взбросов, ниже – сдвигов (рис. 1). Так как в настоящее время работы на шахте ведутся ниже глубины 1000 м рассмотрим детальнее тектоническую дислоцированность пластов, образовавшуюся в результате характерного для третьей (нижней) области напряженного поля. Необходимо отметить, что углевмещающая толща к неогену утратила свою пластичность. Наиболее вероятно, что заложенные ранее (палеозой – мезозой)

малоамплитудные нарушения объединились в крупно- и среднеамплитудные нарушения, поэтому на последних современных этапах могли развиваться только малоамплитудные деформации «хрупкого» типа, которые и отражают напряженное состояние массива. Теоретически доказано, что в условиях трехосного сжатия разрушение может происходить по двум совокупностям поверхностей, расположенным симметрично по отношению к оси σ_2 . Углы сдвига вдоль ряда параллельных плоскостей больше 15° и меньше 45° . Но при образовании разрывных смещений перемещения концентрируются, как правило, на одной поверхности в каждой из сопряженных совокупностей. Это объясняется тем, что образование нарушений «хрупкого» типа обусловлено большой скоростью разрушения. Поэтому если поверхность разрушения в одной совокупности незначительно опередила своим развитием сопряженную совокупность, то дальнейшее развитие запаздывающей совокупности затрудняется или совсем прекращается. Под действием касательных напряжений развиваются кулисообразные трещины, которые сосредоточены в пределах узких полос. Они образуются после складок и простираются косо по отношению к осям складок. Оптимальная ориентировка одинарной трещины зависит от величины главных нормальных напряжений и определяется уравнением [9]:

$$\cos 2\theta = \frac{1}{2} \cdot \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{(\sigma_1 + \sigma_3)},$$



а) для первой области, б) для третьей области: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные нормальные напряжения, F_1, F_2, F_3 – действующие силы

Рис. 1 – Напряженное состояние и соответствующее ему разрушение кубического изотропного образца [1 (рис. 72 а)]

В дальнейшем при сохранении напряженного состояния между одинарными кулисообразными трещинами могут возникнуть соединительные трещины, что приведет к формированию поверхности разрушения, характеризующей в общем таким же простиранием сместителя, как и одиночная трещина.

Исходя из данных, приведенных в таблице, для шахты им. А.Ф. Засядько рассчитана величина угла θ , который в пределах поля равен $37,5^\circ$. Именно такое простирание могут иметь одиночные трещины, образующиеся в массиве под действием измеренных напряжений. При этом некоторые исследователи [7, 8] отмечают, что в зонах действия скалывающих напряжений могут иметь место нарушения разного морфологического типа, например: с доминирующими по распространенности сколами Риделя имеют место косоориентированные взбросы (надвиги) и располагающиеся к ним под прямым углом сбросы.

Важным условием образования нарушений является достаточность величины напряжений для образования разрыва толщи. Теоретически [8] для однородного изотропного массива, если величина σ_1 удовлетворяет условию: $3R < \sigma_1 < 5R$ (где R - прочность породы на сдвиг), то величины возникающих касательных напряжений достаточно для образования разрыва. Так как R различных типов песчаников изменяется в пределах 5 - 15 МПа, а также, учитывая слоистость и анизотропию массива, наличие поровой воды, которые положительно влияют на образование разрывов, можно приблизительно считать, что величины измеренных напряжений достаточно для появления разрывов в углевещающей толще. Следовательно, при достижении касательными напряжениями предельных значений в угольных пластах, как наименее прочных слоев массива, на глубинах ниже H_{sp} может происходить образование разрывных нарушений «хрупкого» типа с определенным простиранием плоскостей сместителей примерно равным $37,5^\circ$. Несомненно все приведенные выше данные рассчитаны для однородного изотропного массива, и предположить их соответствие реальным геологическим условиям сложно, однако выполнение таких замеров и расчетов может служить теоретической основой для выводов о генезисе разрывных дислокаций, вскрытых на угольных пластах шахты.

Рассмотрим типы и генезис разрывных нарушений, осложняющих угольные пласты на поле шахты им. А.Ф. Засядько.

Угольные пласты неравномерно нарушены малоамплитудными разрывными дислокациями. По типу деформаций [8] малоамплитудные разрывы на исследуемых пластах относятся к «хрупким»; исключение составляет среднеамплитудный субширотный Софиевский надвиг «вязкого» типа (падение сместителя на север под углом 33° , амплитуда 10 м). Так как тип деформаций отражает пластичность сминаемой толщи, то, наиболее вероятно, что нарушения этих двух типов образовывались на различных этапах формирования тектоники шахтного поля.

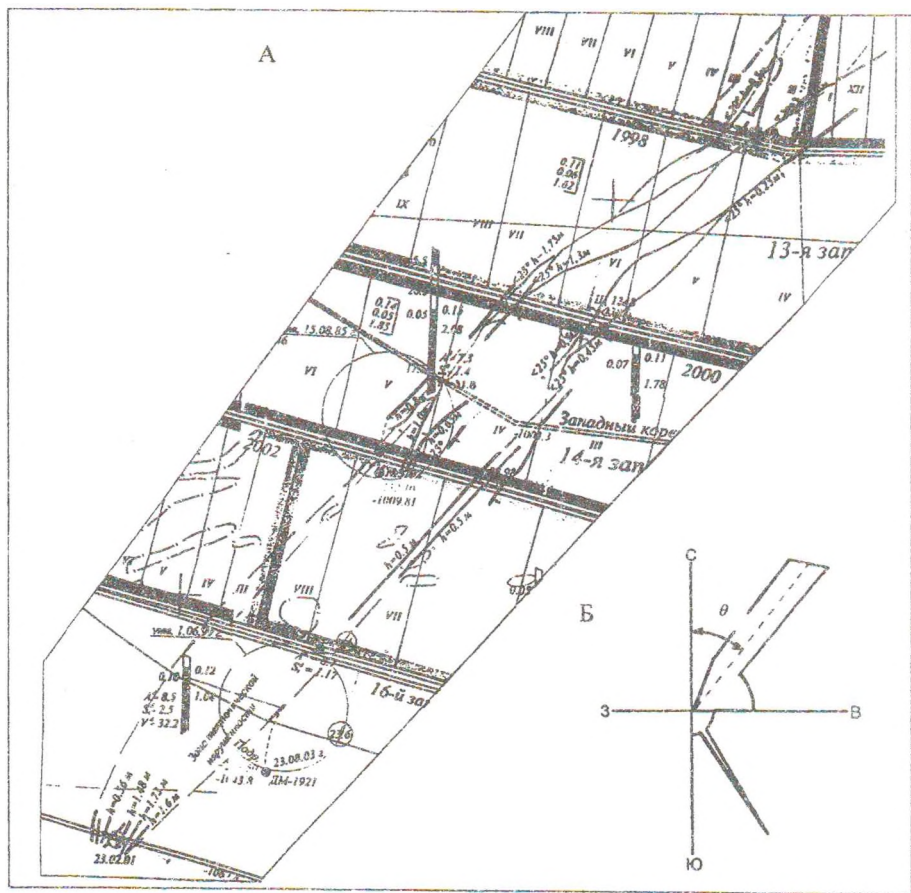
Заложение Софиевского надвига происходило на первом этапе инверсии геотектонического режима (заальская фаза герцинского орогенеза), когда сминаемая толща являлась наиболее пластичной. При этом ось максимальных главных напряжений была направлена вкрест простирания Донбасса, мини-

мальных – по простиранию, промежуточных – вертикально [10]. Южнее шахтного поля расположены субширотный крупноамплитудный Мушкетовский надвиг (амплитуда его на отрезке между Ветковской и Чайкинской флексурами равна – 700 – 800 м, падение сместителя на север под углом 60°) и ряд других нарушений меньшей амплитудой, но имеющих такое же простирание и другие сместителей. Для этих нарушений характерны преднадвиговые подгибы пород. Длинные оси локальных складок на полях шахт: им. М.И. Калинина, Петровского комплекса, “Чайкино”, расположенных в висячем крыле Мушкетовского надвига, ориентированы параллельно ему и интенсивность их у надвига максимальная [9]. Параметры складок, простирание и тип среднеамплитудных надвигов на соседних полях шахт, их пространственная связь с крупноамплитудным Мушкетовским надвигом подтверждают одновременность образования этих субширотных складчатых и разрывных нарушений.

Нарушения “хрупкого” типа формировались на последних этапах развития Донбасса. В соответствии с морфологической классификацией на шахте им. А.Ф. Засядько они представлены надвигами и сбросами. На пласте l_1 количество нарушений больше, чем на пласте m_3 ; здесь отмечены надвиги и сбросы, на пласте m_3 - только надвиги. На пласте l_1 большая часть сместителей надвигов имеет субширотное простирание, меньшая - северо-западное, субперпендикулярное простиранию флексур; сбросы имеют преимущественно северо-восточное и северо-западное простирания. На пласте m_3 преобладают нарушения северо-восточного и северо-западного простираний. Такие морфологические типы и простирание нарушений, как отмечалось выше, могут образоваться под действием скалывающих напряжений.

На пласте m_3 выделена зона малоамплитудных нарушений (рис. 2 А). Она состоит из серий кулисообразных малоамплитудных разрывов типа надвигов, простирание большинства из которых находится в интервале от 30 до 50°. Средний угол примерно равен 40°, что согласуется с расчетным - 37,5°. Простирание зоны - 38°, ширина – 350 м (рис. 2 Б). Именно к этой зоне приурочены выбросы угля и газа, происходившие на шахте. Простирание зоны, тип малоамплитудных нарушений и ее газодинамическая активность позволяют считать, что образование тесно связано с горизонтальными напряжениями, а формирование происходило в неогене и возможно продолжается до настоящего времени.

На основании измеренных параметров главных составляющих современного поля напряжений впервые проведены аналитические исследования углевещающей толщи, показано, что при одинаковой ориентировке напряжений с глубиной происходит изменение напряженного состояния массива, выделено три области, характеризующиеся разным напряженным состоянием и характером разрушения, теоретически рассчитаны: азимут простирания одиночной трещины и обоснована возможность образования разрывных нарушений, под действием измеренных напряжений; показано соответствие теоретических результатов реальным геологическим условиям.



θ – теоретически рассчитанный угол ориентировки одинарных трещин для измеренных величин напряжений

Рис. 2 – А – Зона малоамплитудных нарушений (выкопировка из плана горных работ пласта m_3 шахты им. А.Ф. Засядько); Б – Роза-диаграмма азимутов простирания малоамплитудных нарушений на пласте m_3

Таким образом, в пределах поля шахты им. А.Ф. Засядько впервые проведен совместный анализ натуральных измерений современного напряженного состояния массива горных пород, результатов тектонофизических реконструкций полей палеонапряжений и деформаций, существовавших в массиве при формировании дислокаций а также аналитических расчетов напряженного состояния массива горных пород, базирующихся на механике сплошных сред, что позво-

лило получить и обосновать новые данные о напряженном состоянии углевмещающей толщи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куш О.А. Разрывная тектоника и прогноз нарушенности шахтных полей юго-западного Донбасса: Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 04.00.16 / ДГИ. – Днепропетровск, 1987. – 16 с.
2. Результаты определения величины и направления главных напряжений в углепородном массиве пласта I₁ шахты им. А.Ф. Засядько методом локального разрыва (ЛГР) / Кулинич В.С., Перепелица В.Г., Ефремов И.А. и др. // Геотехн. механика: Межвед. сб. научн. трудов ИГТМ НАН Украины – Днепропетровск, 2003. – Вып. №44. – С. 156 – 164.
3. Влияние тектоники на напряженное состояние углепородного массива в Центральном районе Донбасса / Лукинов В.В., Пимоненко Л.И., Кулинич В.С., Кулинич С.В. // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов ИГТМ НАН Украины. - К. - Днепропетровск, 2000. - Вып. 21. - С. 48-52.
4. Чебаненко И.И. Теоретические аспекты тектонической делимости земной коры. – К.: Наукова думка. – 1997. – С. 1 – 81.
5. А. Е. Шайдегер. Основы геодинамики. – М.: Недра. – 1987. – 234 с.
6. Батугин А.С., Батугина И.М. Изменение напряженного состояния нетронутого массива горных пород в пространстве и во времени // Напряженное состояние земной коры. – М.: Наука, 1973. – С. 148-157.
7. Семинский К.Ж., Адамович А.Н. Значение переиндексации осей главных нормальных напряжений при структурообразовании в различных зонах земной коры // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Новосибирск: РАН ИГД. – 2004. – С. 250 – 255.
8. Ярошевский В. Тектоника разрывов и складок – М.: Недра, 1981. – 245 с.
9. Кратенко Л.Я. Исследование геологических условий формирования локальных выбросоопасных зон на пологопадающих угольных пластах Донбасса: Дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 04.00.16 / ДГИ. – Днепропетровск, 1976. – 220 с.
10. Корчемагин В.А. Геологическая структура и поля напряжений в связи с эволюцией эндогенных режимов Донбасса: Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук / М., 1984. – 48 с.

УДК 622.753.001.57:621.928.028.1

Шевченко Г.А., Шевченко В.Г.
(ИГТМ НАН Украины)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИССИПАЦИИ ЭНЕРГИИ В ПРОЦЕССЕ РАЗДЕЛЕНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА В ЖИДКОСТИ

Приведено результати досліджень процесу розподілу шару кам'яного вугілля у водяному середовищі. Викладено методику визначення дисипації енергії в процесі розподілу сипучого матеріалу в рідині. Встановлено залежності режимних параметрів процесу від коефіцієнта, що враховує розсіювання енергії в шарі матеріалу.

DEFINITION OF ENERGY DISSIPATION IN A SEPARATION PROCESS OF BULK MATERIAL IN FLUID

The outcomes of researches of a separation process of a layer of hard coal in a water environment are adduced. The procedure of definition of energy dissipation in a separation process of bulk material in fluid is set up. The relations of regime parameters of process to a coefficient which is taking into account of energy dissipation in a layer of bulk material are established.

Разделение сыпучего материала по плотности и крупности частиц находит широкое практическое применение в различных отраслях народного хозяйства. Наибольшее распространение он получил при обогащении россыпных полезных ископаемых в жидкой среде. Так, в углеперерабатывающей промышленности повсеместно применяются технологические схемы обогащения минерального сырья с использованием отсадочных машин, вибрационных грохотов, мо-