



М. П. ЗБОРЩИК,
доктор техн. наук
(ДонНТУ)

УДК 622.831322

Тектонофизическая природа газодинамических проявлений

Показано, что формоизменение залегания пласта отражает распределение тектонических напряжений и наличие в массиве аномальных зон природного происхождения. Установлено, что в границах зон площади участков с градиентами залегания пласта более $0,25 \text{ км}^{-1}$ потенциально опасны по газодинамическим проявлениям при проведении горных работ.

Ключевые слова: выбросоопасные шахтопласты, уровень пликативной нарушенности, границы аномальных зон, градиент залегания пласта.

Контактная информация: nshlupkin@yahoo.com

В угольных шахтах Донбасса газодинамические проявления происходят более столетия. Основы газовой и энергетической теорий условно можно разделить на три группы: газовые, энергетические и тектонических напряжений. Возникновение выбросов песчаников существенно уменьшило значимость и приемлемость основ указанных теорий [1], поскольку газа и напряжений от веса пород налегающей толщи недостаточно для разрушения и выброса прочных и малогазовых песчаников.

При многократных тектонических подвижках земной коры в естественном массиве образовались разные системы нарушений. В складчатых толщах действует высокий уровень сжимающих напряжений в плоскости напластования пород. В силовом поле массива действующие напряжения – это результат суммарного взаимодействия гравитационных и тектонических напряжений. Еще до начала работ в горном массиве образовались природные аномальные зоны или участки высоких напряжений, в которых при производстве горных работ возможны негативные проявления горного давления в газодинамической форме.

В середине 50-х годов прошлого века академик А. А. Скочинский сформулировал необходимые и достаточные условия опасности возникновения газодинамических явлений: выбросы происходят в случае одновременного сочетания опасных значений горного давления, параметров физико-механических свойств пород и давления содержащихся газов. Это концептуальное положение принято базовым для разработки основ теории внезапных выбросов угля, породы и газа [2]. При этом не обосновано, какой из факторов решающий в образовании аномальных зон разной потенциальной выбросоопасности.

Достоверность тектонофизической природы газодинамических явлений подтверждает опыт работы шахт Донбасса [3, 4]. Базовый пример – разработка одиночного пологого выбросоопасного пласта m_3 в условиях шахты им. В. М. Бажанова объединения «Макеевуголь». До производства горных работ в границах шахтного поля во вмещающей толще не было техногенных нарушений природного состояния массива.

Форма залегания поверхности пласта – результат (следствие) действия тектонических сил. Действие в массиве тектонических напряжений – ответная реакция пласта и боковых пород на изгибающие силы и моменты сейсмического происхождения, поэтому форма залегания – источник информации о распределении тектонических напряжений в силовом поле естественного массива.

Пласт угля приближенно можно рассматривать как упругую изотропную плиту. Дополнительные главные напряжения, действующие в плоскости изгибающейся упругой плиты под воздействием внешних сил, зависят от ее размеров, параметров упругих свойств и поперечных деформаций изгиба. В рассматриваемой точке деформации плиты равны главным кривизнам ее поверхности. По их значениям определяли примерный уровень распределения тектонических напряжений.

Интегральная мера формоизменений пликативно нарушенного пласта – градиент главных кривизн в рассматриваемой точке поверхности:

$$K_0 = \sqrt{K_1^2 + K_2^2},$$

где K_0 – скалярная величина, не имеющая направления.

При малых поперечных деформациях главные кривизны K_1 и K_2 – максимальный и минимальный прогибы пласта или слоя пород в рассматриваемой точке. Способ определения изменения формы залегания шахтопласта обоснован в монографии [4].

Карта изменения формы залегания нарушенного шахтопласта m_3 приведена на рис. 1. Изолинии карты в пределах границ шахтного поля показывают распределение градиентов главных кривизн K_0 . Согласно данным карты залегание пласта почти плоское, градиент кривизны – не более $0,05-0,1 \text{ км}^{-1}$. Нарушенные зоны или участки складчатого характера расположены вблизи технических границ шахтного поля: на восточном крыле у Ново-Чайкинского надвига пласт имеет вогнутую форму; на западном – вблизи Безыменного и Григорьевского надвигов – выпуклую.

Вследствие наложения мест газодинамических проявлений на карту формоизменения залегания пласта установили, что выбросоопасные зоны расположены на площадях аномального действия тектонических напряжений. На восточном крыле шахтного поля (площадь вогнутого залегания пласта) произошло 14 выбросов угля и газа при градиентах главных кривизн $0,35-0,6 \text{ км}^{-1}$. Выбросы проявились в период проведения горной выработки протяженностью 240 м, когда на нее не влияли очистные работы. На западном крыле поля (выпуклая форма залегания пласта) произошло девять вы-

бросов. Они также проявились в период проведения выработки вне зоны влияния очистных работ при градиентах залегания пласта $0,25-0,4 \text{ км}^{-1}$.

Таким образом, опыт работы шахты им. В. М. Бажанова свидетельствует, что в естественном горном массиве зоны потенциально высокой выбросоопасности располагаются на площадях участков пликативной нарушенности пласта при градиентах примерно $0,25 \text{ км}^{-1}$ и более. В случае плоского залегания пласта в силовом поле массива действуют в основном гравитационные напряжения, которые не могут быть причиной образования зон аномально высоких напряжений.

Физико-механические свойства угольного пласта влияют на его выбросоопасность. Естественный горный массив – сложная сре-

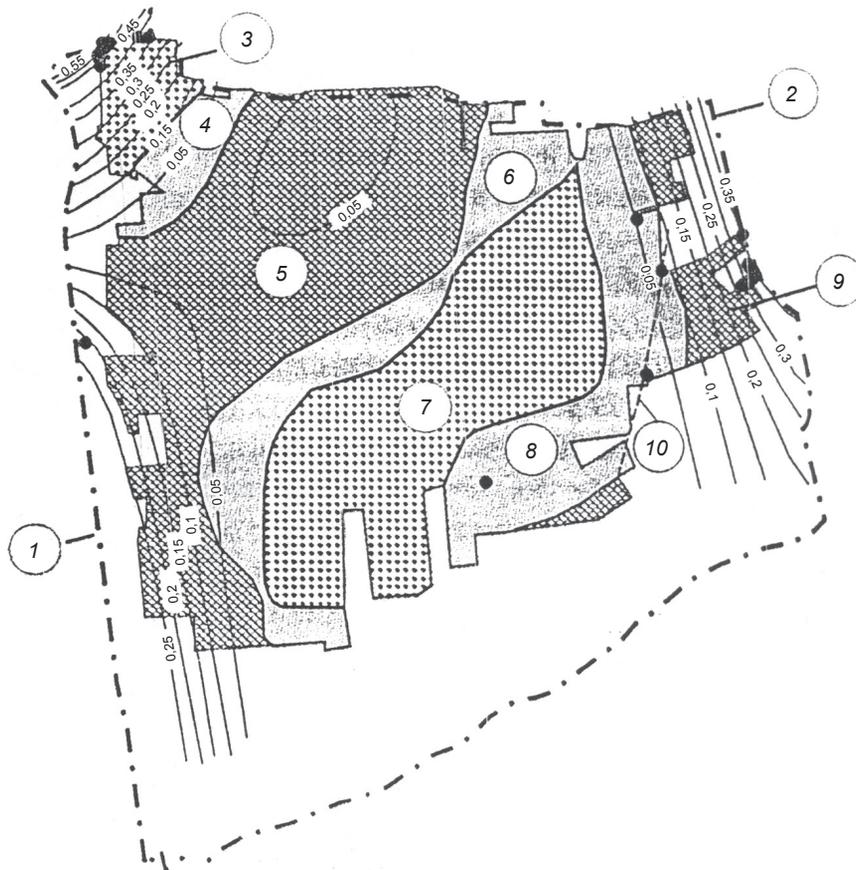


Рис. 1. Карта изменения формы залегания пликативно нарушенного шахтопласта m_3 ; изолинии показывают распределение градиентов главных кривизн K_0 : 1 и 2 – границы шахтного поля соответственно восточная и западная; 3 и 7 – площади вогнутой формы; 4, 6 и 8 – то же, седловидной; 5 и 9 – то же, выпуклой; 10 – линия малоамплитудного разрывного нарушения.

да и следует учитывать его особенность – наличие взаимосвязи между напряженным состоянием пород и их физико-механическими характеристиками. Чем чаще и быстрее сейсмические процессы изменяли уровень действующих тектонических напряжений, тем больше возрастала деструкция пласта и боковых пород (разрушение их природной структуры). Деструктивные процессы уменьшили показатели прочности углеродного вмещающего массива и увеличили степень предрасположенности его к газодинамическим проявлениям. Поэтому исходная вероятность выбросоопасности пластов существенно зависит от уровня действующих тектонических напряжений в природной среде.

В Донбассе не менее 50 % газоносных шахтопластов склонны к газодинамическим проявлениям. Однако многие исследователи редко преувеличивают роль газового фактора в формировании условий их потенциальной выбросоопасности. Содержащийся в угле газ находится в двух состояниях. В пустотах (трещинах, порах и др.) заключен свободный газ, содержание его разное и может достигать 20–25 %. Основная доля газа находится в угле в твердом состоянии. Чем в массиве больше напряженное состояние, тем больше газа в твердом (адсорбированном) состоянии.

Давление свободного газа в твердом состоянии не изменяет силовое поле массива. Влияние газового фактора начинает сказываться не в период зарождения опасной ситуации, а на стадии интенсивного разрушения угля при производстве горных работ. Во время выброса метан дополнительно способствует транспортированию угольных фрагментов из полости в пустотность сооружаемой выработки.

Следовательно, при техногенном нарушении равновесного состояния массива, особенно в его аномальных зонах, степень потенциальной выбросоопасности пласта в основном зависит от фактора действующих тектонических напряжений в исходном силовом поле природного массива.

Часто утверждают, что с увеличением глубины разработки выбросоопасность шахтопластов возрастает. Такая трактовка не согласуется с опытом разработки выбросоопасного шахтопласта в шахте им. В. М. Бажанова.

За 45 лет ведения горных работ на глубинах 750–1200 м в условиях пласта m_3 зарегистрировано 29 выбросов угля и газа. Так, на глубинах 750–800 м произошло 14 выбросов на восточном крыле шахтного поля (залегание пласта вогнутой формы), на глубинах 950–1050 м – 13 выбросов на западном крыле (выпуклая форма пласта). Прослеживается тенденция роста частоты газодинамических проявлений с увеличением глубины разработки. На глубинах 800–950 м уголь вынимали интенсивно, однако на всей выработанной площади плоского залегания пласта (градиент кривизны K_0 менее $0,25 \text{ км}^{-1}$) выбросы не зафиксированы.

Тектоническая природа газодинамических проявлений остается одинаковой и приемлемой для разработки свиты пликвативно нарушенных пологих пластов [5]. Причем важно учитывать влияние опорных зон техногенного происхождения при разработке сближенных и близкозалегających пологих пластов (расстояние между ними по нормали примерно до 30–40 м и до 80–100 м соответственно).

Если нижний выбросоопасный пласт ранее надработан и его участок находится в границах природной аномальной зоны, а в верхнем (защитном) пласте оставлен целик и наблюдается техногенная опорная зона, то она пригружает нижний выбросоопасный пласт. Тогда в силовом поле нижнего пласта повышается уровень напряжений и резко возрастает опасность газодинамических проявлений.

Если исходные условия сохраняются, а участок нижнего выбросоопасного пласта располагается вне площади действия природной аномальной зоны или нижний пласт невыбросоопасный, то влияние техногенной опорной зоны верхнего пласта не проявляется в форме выбросов в выработках нижнего пласта свиты.

Таким образом, техногенная опорная зона не создает в силовом поле вмещающего массива такой уровень напряжений, который приближается к уровню напряжений, действующих суммарно при влиянии двух аномальных зон, т. е. природного и техногенного происхождений.

Существует метод определения примерных границ действия природных аномальных зон повышенных напряжений в силовом поле [6]. Метод включает: геометризацию условий за-

легания пласта по данным маркшейдерских замеров в горных выработках; вычисление градиента главных кривизн K_0 ; построение карты геотектонического формоизменения пласта в пределах рассматриваемой площади; нанесение на карту мест газодинамических проявлений при ведении горных работ; определение опасных значений градиента K_0 залегания пласта; оконтуривание опасной площади в рамках границ природной аномальной зоны.

Выводы. В случае пликтивной тектонической нарушенности естественный угленосный массив способен порождать газодинамические проявления при выполнении горных работ. Главный фактор или источник сил, инициирующих опасность выбросов угля и газа, – высокий уровень действующих напряжений в силовом поле природного массива (в нем преобладает составляющая тектонических напряжений).

Факторы уменьшения прочности угольного пласта и роста давления газа в пустотах нарушенной среды повышают вероятность проявлений выбросов. Однако доля их влияния существенно зависит от уровня тектонических напряжений, действующих в силовом поле природного массива.

В границах шахтного поля или его участков, претерпевших тектонические нарушения, во вмещающем природном массиве (в его силовом поле) действует неравномерное распределение напряжений. Эта неравномерность обусловлена действием разных уровней тектонических напряжений. Природные аномальные зоны выпуклой, вогнутой и седловидной форм залегания пласта с градиентом кривизны более $0,25 \text{ км}^{-1}$ наиболее опасны по газодинамическим проявлениям, частота

и интенсивность которых возрастает с увеличением глубины разработки только в границах природных аномальных зон, включающих высокий уровень пликтивной тектонической нарушенности пласта и его боковых пород ($K_0 > 0,25 \text{ км}^{-1}$).

На выбросоопасных пластах при планировании горных работ на площадях этажей или ярусов необходимо прогнозировать наличие природных аномальных зон высоких напряжений. В границах этих зон на площадях с градиентом кривизн более $0,25 \text{ км}^{-1}$ следует заранее определять меры предотвращения или существенного уменьшения потенциальной выбросоопасности разрабатываемых шахтопластов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волошин Н. Е. Основы тектонофизической теории выбросов твердых ископаемых и пород в шахтах / Н. Е. Волошин. – Донецк: СПД Дмитренко, 2007. – 64 с.
2. Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. – М.: Недра, 1978. – 164 с.
3. Зборщик М. П. Особенности зональности газодинамических проявлений при разработке одиночных пологих пластов / М. П. Зборщик, М. А. Ильяшов, В. И. Пилюгин // Уголь Украины. – 2007. – № 8. – С. 17–20.
4. Пилюгин В. И. Разработка угольных пластов в зонах сложного залегания / В. И. Пилюгин, А. П. Стариков. – Донецк: ДонНТУ, 2008. – 350 с.
5. Зборщик М. П. Геомеханический анализ формирования опасных ситуаций при разработке свит угольных пластов / М. П. Зборщик, М. А. Ильяшов // Наук. вісник НГУ. – 2009. – № 4. – С. 18–22.
6. Пат. № 2005/29527, Российская Федерация, МПК Е 21F 5/00. Способ прогноза выбросоопасности угольных пластов / В. И. Пилюгин, М. П. Зборщик, А. Ф. Син, В. Л. Радионовский, О. И. Иванов; заявитель и патентообладатель: В. И. Пилюгин, М. П. Зборщик, А. Ф. Син, В. Л. Радионовский, О. И. Иванов. – № 2310757; заявл. 17.03.05; опубл. 20.05.07, Бюл. № 5.