

НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ФОРМЫ ПРОЯВЛЕНИЯ ОТЖИМА УГОЛЬНОГО ПЛАСТА В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ С УВЕЛИЧЕНИЕМ ГЛУБИНЫ РАЗРАБОТКИ

Естественное напряженное состояние массива пород определяется действием двух независимых силовых полей – гравитационного и тектонического.

Рассмотрим действие гравитационного поля сил в массиве пород. Горные породы, составляющие земную кору, находятся в объемном напряженно-деформированном состоянии или, как принято говорить, в состоянии “нетронутого массива”. Это состояние является результатом длительного геологического процесса, и правильное понимание закономерностей распределения напряжений и деформаций в горных породах нетронутого массива имеет большое значение при решении практических задач, касающихся горного давления. Длительное воздействие гравитационных сил наряду с другими физическими и химическими процессами привело к образованию горных пород с определенными прочностными и деформационными свойствами. Породы нетронутого горного массива находятся в состоянии объемного сжатия под действием активного вертикального напряжения $\sigma_z = \gamma H$. Наиболее характерная черта нетронутого массива – невозможность деформирования пород в горизонтальном направлении, т. е. $\xi_x = \xi_y = 0$. При спокойном залегании горизонтального угольного пласта величина геостатического горного давления распределена равномерно по всей площади, а при наклонном залегании – неравномерно.

Целью статьи служит установление закономерностей проявления отжима угольного пласта в очистном забое с увеличением глубины разработки для проектирования новых технологических схем выемки угля.

Тектоническое поле сил – следствие тектонических движений, протекавших на протяжении всех геологических эпох в прошлом и настоящем. Однако во многих случаях тектонической составляющей силового поля можно пренебречь за ее малостью по сравнению с гравитационной составляющей.

При разработке угольных пластов в массиве горных пород нарушается равновесное состояние среды. Происходит перераспределение поля на-

пряжений, деформаций и внутренней энергии. Обработка угольных пластов вносит изменение в поверхностную энергию твердого раствора. Последняя, в свою очередь, оказывает влияние на внутреннюю энергию, на пластовое давление. Энергетическое перераспределение в твердом растворе вызывает перераспределение поля напряжений в технологической схеме подготовки выемочных столбов в зависимости от принятой системы разработки.

Характерное свойство горных пород – высокая степень их неоднородности и анизотропия, проявляющаяся на всех четырех масштабных уровнях: микроскопическом, субмакроскопическом, макроскопическом, мегаскопическом. Разнообразие механических свойств горных пород – следствие слоистости, анизотропии и упрочнения, структурной неоднородности твердого раствора. Слоистое строение углепородного массива требует применения таких методов исследований и оценки напряженно-деформированных состояний горного массива, которые учитывают его особенности. Для пород слабых или способных к пластическому течению при небольших нагрузках (глинистые и песчаные сланцы и др.), гидростатическое состояние массива может проявиться уже на небольшой глубине.

Особенности угольного массива – это относительно малая прочность пласта и наличие поверхностей с невысоким коэффициентом трения. Направленное исследование деформационных свойств угольного пласта с учетом этих особенностей позволяет определить его роль в сохранении устойчивости всего горного массива.

В традиционном толковании этих процессов с помощью классической теории упругости уменьшение объема деформируемого твердого раствора связывают с накоплением энергии упругих деформаций: деформирование без изменения объема при постоянном напряжении; деформирование с пластическим течением без разрыва сплошности.

Такие явления как деформирование без изменения объема при одновременном росте сопротивления нагрузкам, увеличение объема с ростом, а затем снижением сопротивления, в рамках теории упругости объяснения не имеют, их объясняет синергетика, наука, изучающая самоорганизацию в неживой природе.

Механизм процесса уменьшения объема является очевидным. Увеличение объема объясняется развитием трещиноватости. Деформирование без изменения объема при одновременном росте сопротивления действующим нагрузкам возможно, если синергетические процессы уплотнения твердого раствора за счет сближения структурных элементов и разуплотнения за счет раскрытия трещин на определенном этапе нагружения количественно уравновешиваются.

Синергетика в механике горных пород основана на балансе входящих и исходящих потоков энергий. Самоорганизация дефектов при их образовании в угольном пласте и вмещающих породах становится возможной на большой глубине в системе “массив – выработанное пространство”, в области, удаленной от механического равновесия.

Все физические процессы в краевой части угольного пласта обусловлены трещинообразованием (саморазрушением), которое сводится к одному процессу – фазовому самопроизвольному переходу краевой части угольного пласта в псевдоагрегатное состояние – разупрочненный массив. Он характеризуется наличием трещин техногенно-антропогенного происхождения. Режим с обострением, например, с выбросом угля и газа, характеризуется фазовым переходом из ненарушенного состояния массива сразу в “газоугольный поток”. Свободного метана в угле практически нет. Предполагается, что он находится в связанном состоянии. Традиционно в горной науке считается, что метан, необходимый для выброса, может выделяться в результате термодинамического разложения твердого углегазового раствора (ТУГРа). Однако наука пока не объясняет, почему это происходит мгновенно, в условиях отсутствия проницаемости угольных пластов, в режиме фильтрации.

Альтернативный подход к объяснению этих процессов – синергетический. Метан рождается и генерируется в растущей трещине. Газовая проницаемость пласта возникает в результате прорастания техногенно-антропогенных трещин саморазрушения на поверхности обнажения одновременно с генерацией дополнительного объема метана. При этом между угольным пластом и выработанным пространством идет непрерывный обмен потоками механической энергии. При воздействии на пласт создаются условия для мгновенного расширения пласта и взрывоподобного высвобождения накопленной им энергии упруго сжатого тела. Ведение подземных горных работ вызывает нарушение равновесного состояния. Возрастает направленный поток механической энергии на массив. Достигнув критической плотности на единицу площади обнаженной поверхности, поток вызывает скачкообразную перестройку структуры краевой части угольного массива. Нарушение равновесия вызывает слабую реакцию массива, например, в виде появления небольшой трещины. Сильное воздействие вызывает сильную реакцию, как горный удар или выброс угля и газа.

Самоорганизация в механизме саморазложения твердого углеводородного раствора (ТУВРа) проявляется практически во всем, при этом фрактально (самоподобно) на всех масштабных уровнях.

В условиях проявления диффузионной сверхпроницаемости трещины ориентируются вдоль силовых линий поля напряжений. Механизмы на

всех масштабных уровнях фрактально подобны: образование нормальных к силовым линиям трещин; раскрытие параллельных силовым линиям (на макроуровне); разворот вдоль силовых линий на (микроуровне). Переход на всех масштабных уровнях происходит скачкообразно и одновременно для всех дефектов в некоторой локальной области. Часто изложенный подход называют синергетическим. Под действием потока механической энергии вдоль силовых линий генерируется волна свойств, что особенно актуально для микроуровня.

Ключ к решению проблемы видится в моделировании геомеханических процессов, которое может стать возможным только при условии привлечения теории бифуркаций [1], согласно которой процесс разупрочнения и разрушения краевой части угольного пласта может быть составлен из большого числа одинаковых элементарных актов разрушения, подчиняющихся единому алгоритму. До вскрытия угольный пласт находится в равнокомпонентно напряженно-деформированном состоянии. При обнажении (вскрытии) образовавшаяся свободная поверхность восстанавливает потерянное равновесие путем упругого деформирования в сторону выработки. При этом смещение поверхности обнажения достигает критической величины и происходит скачкообразное прорастание первичной магистральной трещины. При дальнейшем росте и ветвлении она играет роль канала фильтрации газового потока в горную выработку. Выделяющийся в результате разгрузки абсорбированный газ оказывает расклинивающее действие на стенки трещины. Выделение газа усиливает процесс трещинообразования, который становится самоподдерживающимся и саморазвивающимся. Процесс разложения твердого углеводородного раствора под действием потока механической энергии состоит из большого количества абсолютно одинаковых элементарных актов разрушения. Но ни одному из этих актов, как и следовало ожидать, не присущи свойства, которые появляются при их коллективном проявлении. Таким образом, изучение процессных фракталов (коллективного поведения элементарных объемов твердого раствора и их самоорганизации под воздействием потоков энергии), протекающих скачкообразно и состоящих из большого числа одинаковых элементарных актов разрушения, представляется возможным только при одновременном применении теории фрактальных множеств, прикладной синергетики и теории бифуркаций [1, 3].

В шахте генерация рудничных газов или флюидов твердой компоненты происходит при образовании техногенно-антропогенных трещин саморазрушения – диссипативных структур (ДС). Явление коллективного поведения и самоорганизации в неживой природе существовало всегда. В поле зрения геомеханики попало скачкообразное явление, которое хорошо вписывается во “фрактальную” (прерывную) синергетику.

С увеличением глубины ведения горных работ в краевой части угольного пласта очистного забоя необходимо различать: 1) процессы медленно текущие и связанные с ними все известные шахтные и лабораторные измерения величин, характеризующих физико-механические свойства углей; 2) быстро (разрывно) протекающие процессы.

Первые – это раскрывающиеся природные, медленно растущие “усталостные” трещины. Вторые – протекающие скачкообразно (мгновенно), в т.ч. и со скоростью звука. Внешне это очень похожие, как бы одни и те же процессы хрупкого саморазрушения. Но “быстро текущие” – самоподдерживающиеся, саморазвивающиеся, их пока не удастся полностью воспроизвести в лаборатории. Это уже не просто ДС, которых в природе бесконечное множество. Это ДС с самоорганизацией под действием какого-либо вида энергии.

Время образования ДС с самоорганизацией, как и время протекания процесса образования техногенных трещин саморазрушения, практически равно нулю. За это время температура измениться не может. Приращение энтропии на макроуровне практически равно нулю, т.к. площадь трещин – бесконечно малая величина по сравнению с простиранием угольного пласта. На микроуровне энтропия вещества в стенках трещины не изменяется. В геомеханике газонасыщенных горных пород синергетика включает в себя неравновесную термодинамику и ДС. Глубоко под землей образуются не просто ДС, которые благодаря коллективному поведению являются самоорганизующимися, а структуры, которые при своем образовании выделяют (генерируют) дополнительное количество энергии и новое вещество. Такие процессы развиваются взрывоподобно. Более века в геомеханике механизм этого явления известен на уровне гипотез типа “газового мешка”. Самоорганизация приводит к появлению в угольном пласте энергии газового давления. Нарушение механического равновесия на большой глубине вызывается действием только внешнего источника энергии по отношению к краевой части угольного пласта, а классические фазовые переходы происходят под действием внутренних источников энергии. Поэтому, быстро (взрывоподобно) протекающее трещинообразование в геомеханике не имеет сегодня другого объяснения, кроме как проявление саморганизации и коллективного поведения элементарных объемов вещества. Следовательно, синергетика в краевой части угольного пласта состоит как из термодинамических, так и не термодинамических фазовых переходов, неравновесной термодинамики и неравновесной “механодинамики”.

Равновесное и неравновесное упорядочение видов энергий присуще всей природе. Выражается это существованием двух фундаментальных процессов: организации и само-организации. Физически они различаются по

направленности изменения энергии; степени неравновесия и энтропии (в случае необратимых процессов).

В процессах самоорганизации энергия поглощается, при этом степень неравновесия растет, т.к. энергия уменьшается. В процессах организации все наоборот. Механизм самоорганизации и ее источники энергии в общем виде можно представить в виде сопряжения двух процессов – энергодающего, идущего к равновесию, и потребляющего (часть энергии, идущей на внутреннюю полезную работу, направленную против равновесия). Самоорганизация – это континуальная самоорганизация микросистем, а “синергетика” – когерентная самоорганизация макросистем. И то и другое, как видно из написанного выше, суть самоорганизации.

1. Шестопалов А.В. Фракталы, прикладная синергетика, бифуркации и клеточные автоматы при исследовании твердых растворов. – Симметрия и косимметрия в теории бифуркаций и фазовых переходов / Сб. тр. Междунар. школы-семинара “SCDS-2002” (27 авг. – 2 сент. 2002 г., г. Сочи, пос. Лоо, б/о “Слава”). – Ростов-на-Дону: РГУ, 2002. – С. 154–157.
2. Усаченко Б.М., Паламарчук Т.А., Слащева Е.А. Исследование синергетических и волновых процессов в массиве горных пород / Горный информационно-аналитический бюллетень. – № 8, авг. – 2000. – С. 182–184.
3. Шестопалов А.В. Фрактально-синергетическая модель системы “горный массив–выработка” сильно удаленной от своего механического равновесия // Сб. ФиПС-01: Фракталы и прикладная синергетика (Тез. докл. Второго Междунар. междисциплинарного симп., г. Москва, ИМЕТ РАН, 26–30 нояб. 2001 г.). – М.: Изд-во МГОУ, 2001. – С. 130–132.