

УДК 622. 834

**СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ
ФОРМИРОВАНИИ ОЧАГОВ САМОНАГРЕВАНИЯ В
ДЕФОРМИРОВАННОМ УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ**

Костенко В. К., Завьялова Е. Л.

*(Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Украина)*

Встановлена можливість протікання синергетичних процесів при формуванні вогнищ самонагрівання в деформованому вугільному пласті, що дозволило розвинути погляди на механізм формування останніх.

Possibility of flowing of synergetic processes is set at forming of hearths of self-heating in the deformed coal-bed, which allowed developing opinions to the mechanism of forming of the last.

Эндогенные пожары, ежегодно регистрируемые на шахтах Украины, стабильно остаются на втором месте после экзогенных пожаров по общему объему причиненного отрасли ущерба, а по величине экономических потерь, наносимых одной аварией, занимают лидирующее положение. Подземные эндогенные пожары возникают в труднодоступных местах, таких как выработанное или закрепное пространство, в целиках, в угольных отложениях за изоляционными перемычками, в пластах-спутниках. Угольный пласт, как правило, в таких условиях находится в деформированном состоянии. Кроме того, с увеличением глубины ведения горных работ сократился тепловой диапазон между температурой горного массива и критической температурой самовозгорания угля. Это способствует увеличению эндогенной пожароопасности горных выработок. Подавление очагов горения в таких условиях затруднено, чем обусловлена самая высокая продолжительность

ликвидации этого вида подземных аварий. Таким образом, задача совершенствования арсенала средств и способов профилактики эндогенных пожаров в горных выработках остается актуальной.

Однако решение этой задачи невозможно без выяснения природы и механизма развития очагов самонагревания. Известно несколько взглядов на данную проблему: низкотемпературное окисление; действие тионовых бактерий; сочетание геомеханических и аэрологических факторов и др. [1]. В результате анализа было выявлено, что на различных стадиях эволюции очагов самонагревания угля возможно превалирование одной из причин или групп факторов, однако достоверно не установлено, что является первопричиной, дающей толчок к интенсивному росту температуры и зарождению очага самонагревания.

Проведенные исследования [1, 2] показали, что причина интенсивного разогревания угля кроется не только в процессе химического взаимодействия угля с воздухом, но и зависит от горно-геологических условий в нарушениях. Это позволило дополнить представления о механизме формирования областей повышенной температуры в зонах геологических нарушений (ЗГН) угольных пластов.

В ЗГН проявляется качественно новая форма трещиноватости. Общая картина трещиноватости представляет собой систему макротрещин (ширина раскрытия $\Delta > 10^{-6}$ м), окруженную густой сетью микротрещин (ширина раскрытия $\Delta = 10^{-6} \dots 10^{-8}$ м), именно это обстоятельство определяет в дальнейшем условия возникновения очагов самонагревания (ОС) угля.

При нормальном атмосферном давлении в макротрещинах воздух в микротрещинах находится в состоянии вакуума и миграция газов происходит вследствие эффузивных процессов, то есть процессов истечения разреженного газа из отверстия, характерные размеры которого меньше длины свободного пробега молекул. Использование явления эффузии позволяет обосновать новый взгляд на проблему зарождения ОС в горных выработках.

Теоретически можно предположить следующий вариант развития ОС угля (рис. 1). Если в микротрещину из макротрещины поступает смесь газов: кислорода, азота, метана и водяного пара, тогда вследствие изотермической эффузии через отверстие

малого диаметра (микротрещину) в первую очередь будут проникать молекулы с меньшей молекулярной массой.

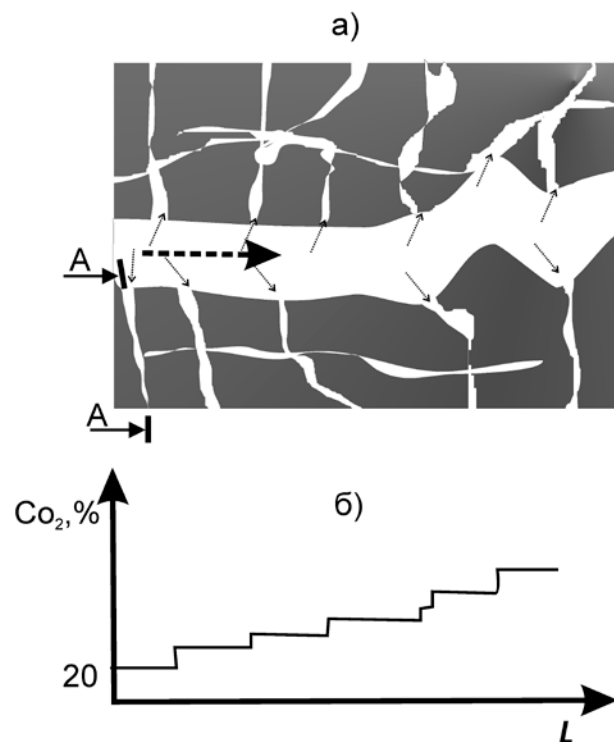


Рис. 1. Схемы движения воздуха по макро- и микротрещинам (а) и повышения содержания кислорода в макротрещине (б) вследствие изотермической эффузии

Двигаясь в макротрещине сквозь сеть микротрещин газовая смесь будет терять более легкие составляющие, обогащаясь более тяжелыми. В макротрещине вероятно возникновение областей с повышенным содержанием газа, имеющего большую молекулярную массу, в нашем случае – кислорода (рис. 2). А если учесть, что в трещинах содержится неокисленная угольная пыль, химическая активность которой чрезвычайно высока, то создаются условия для её интенсивного окисления и, как следствие, появления многочисленных микроочагов самонагревания. Повышение температуры приводит к возникновению тепловой депрессии и усилению притока свежего кислорода в пласт.

Таким образом, установлено, что в деформированном угольном пласте существуют условия для эффузивного разделения газовых смесей, что приводит к обогащению кислородом

воздуха в полостях макротрещин и ускорению окислительных процессов. Однако тепловыделение (393,8 кДж/моль) при этом, даже если предположить, что окисление идет до конца, с учетом количества химически активной пыли в макротрещинах, недостаточно для вовлечения в процесс самонагрева основной массы угля.

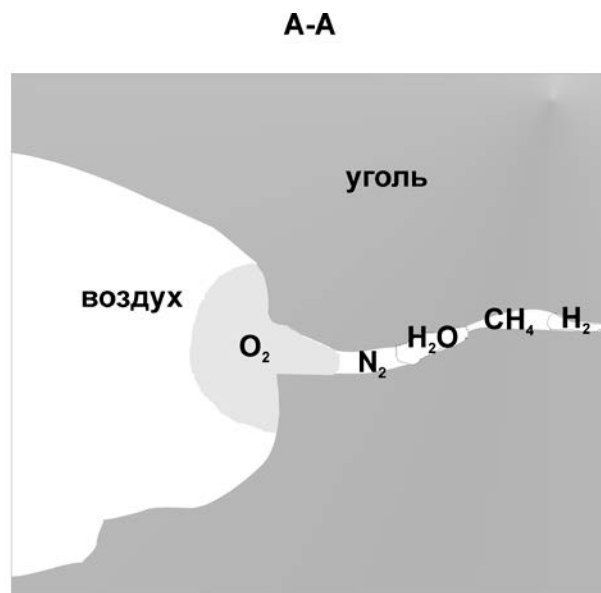


Рис. 2. Схема эффузивного процесса разделения газовой смеси на составляющие в микротрещине

С этой точки зрения представляют интерес и другие процессы, протекающие в деформированных угольных пластах на глубинах более 700 м, и идущие с выделением тепла. В частности, группой ученых в результате исследования низкоуглеродистой газовой составляющей шахтопластов шахты им. А. Ф. Засядько [3] обоснована роль природного ацетилена, содержащегося в угольных пластах, как энергетического источника внезапных выбросов в угольном массиве и взрывов в рудничной атмосфере.

Повышенный интерес к возможному наличию природного ацетилена в угольных пластах и вмещающих породах объясняется физико-химическими свойствами последнего, базирующимися на энергетическом несовершенстве его молекул, метастабильности и колоссальной энергоемкости. Разрушение тройной углеродной связи возможно за счет толчков, ударов, сотрясений и при отсутствии кислорода. Можно предположить, что наличие ацети-

лена в концентрациях ниже нижней границы (2,7 %) взрывоопасности ацетилено-газовой смеси в присутствии кислорода приведет к его окислению, при чем тепловой эффект реакции составляет 1309,6 кДж/моль, что в 3,3 раза превышает тепловыделение при окислении угольной пыли.

Целью данной статьи является развитие представлений о механизме формирования ОС угля в деформированном пласте путем установления синергетических процессов, идущих с выделение тепла.

Проведенный порционный отбор газов из угольных образцов [3] показал качественную разницу газов от первой до последующих проб: в каждой последующей газовой пробе увеличивалось процентное содержание углеводородов метанового ряда с большим углеродным числом и ацетилена.

В одной из проб, где в первой порции десорбированных газов ацетилен составлял 0,1 %, а метан – 95 % (остальное – пропан, бутан, пентан), в последней третьей порции десорбированных газов ацетилен достиг показателя 1,2 %, а содержание метана уменьшилось до 50 % (48,8 % составили пропан, бутан и пентан). Считая процессы десорбции исследованного угольного образца характерными для участка угольного пласта, где этот образец отбирался, естественным был вывод, что вмещенная в угольном пласте смесь качественно различных газов, перемещаясь в сторону более низких внутрипластовых газовых давлений, постоянно испытывает смену фазовых равновесий отдельных газов этой смеси. Таким образом, молекулы газов, составляющих смесь, на пути перемещения стремятся к разделению в соответствии с границами разделения фаз и стабилизации постоянного равновесия концентраций.

Поскольку концентрация природного ацетилена при многократных фазовых переходах может возрасти до взрывоопасной, был сделан вывод о возможности формирования энергоемких метастабильных газовых структур в угольных пластах во время их разработки или во время периодических движений земной коры в разломных зонах.

Формирование метастабильных энергоемких газовых структур в угольных пластах происходит по аналогии газо-твердого

адсорбционного хроматографирования, базирующегося на предположении теорией адсорбции Ленгмюра наличия на поверхности сорбента участков свободного силового поля, способного фиксировать мономолекулярный слой, экранируя силовое поле сорбента от действия на другие молекулы адсорбата. Основой разделения газовой смеси являются количественные показатели взаимосвязей в системе адсорбент-адсорбат, т.е. газовая смесь разделяется по степени сродства компонентов к неподвижной фазе. В связи с постоянным перемещением подвижной фазы, молекулы адсорбата, выходя из подвижной фазы, возвращаются в нее, но попадают в новый элемент ее объема. Многократное повторение фазовых переходов обеспечивает разделение газовой смеси на компоненты [4].

В угольном массиве неподвижной фазой является уголь, а подвижной - вмещенная в угле газовая смесь. Движение газовой смеси осуществляется за счет перепада газового давления в пласте к горной выработке. При взаимодействии сорбента с адсорбатом каждый компонент газовой смеси распределяется в соответствии с его способностью адсорбироваться.

В результате перемещения, только часть газовой смеси взаимодействует с неподвижной фазой, а остальная движется дальше и взаимодействует с другим участком поверхности сорбента. Молекулы компонентов смеси, характеризуясь различной степенью сродства с сорбентом (разной адсорбируемостью), будут продвигаться по сорбенту с разной скоростью, распределяясь, таким образом, в сорбенте соответственно присущих им адсорбционным свойствам. На практике, ацетилен выделяется одним из последних из компонентов газовой смеси угольных пластов. Мелкодисперсная угольная пыль, находящаяся в макротрещинах, с развитой адсорбционной поверхностью способствует разделению газовой смеси и увеличению концентрации ацетилена. При подходе горной выработки к участку с адсорбированным ацетиленом, в результате падения газового давления в угольном пласте, происходит десорбция ацетилена с поверхности сорбента, т.е. ацетилен переходит в газовую, энергетически нестабильную фазу в макротрещинах. Этому переходу способствует также тем-

пература вмещаючих пород, которая на глубине свыше 700 м составляет 40 – 50° С.

Вышеизложенные факты позволяют установить взаимосвязь между переходом ацетилена в газовую, энергетически нестабильную фазу и формированием пожароопасных зон в деформированных пластах угля.

Минимальная длительность периода формирования ОС угля для условий Донбасса составляет 4 суток после того, как закончится интенсивное выделение метана из пласта [1, 5]. Определенное сочетание макро- и микротрещиноватости определяет протекание эффузивных процессов в полостях трещин, сопровождающихся образованием в макротрещинах областей с повышенным содержанием кислорода. Метастабильные ацетиленовые газовые структуры формируются в местах образования зон с повышенным содержанием кислорода. Там же находится и химически активная угольная пыль. Все это приводит к протеканию окислительных процессов, идущих с выделением тепла и ускоряющих друг друга, что способствует образованию пожароопасных зон (рис. 3).

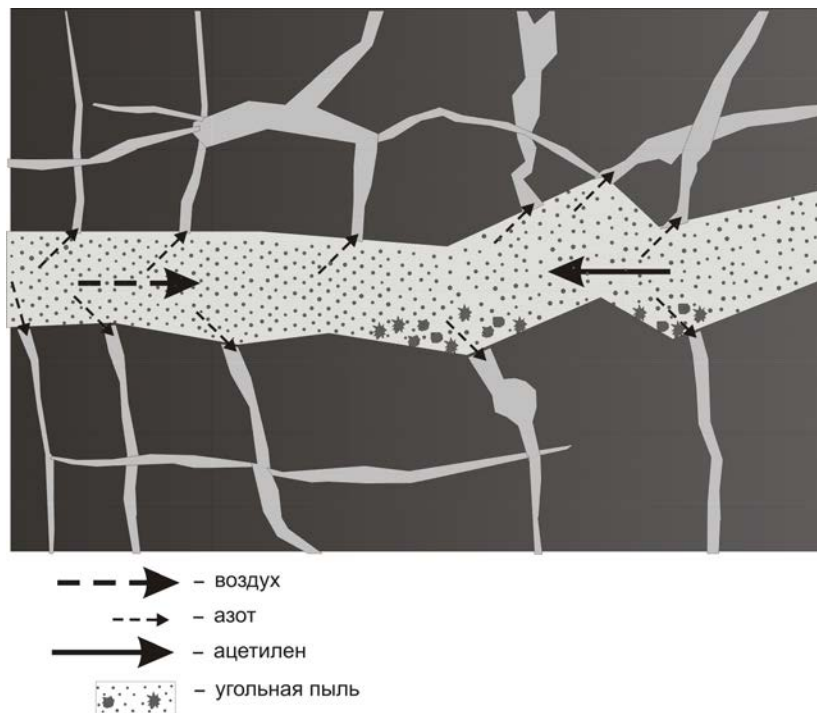


Рис. 3. Схемы движения воздуха и ацетилена в деформированном пласте

Таким образом, механизм формирования очагов самонагрева и самовозгорания угля [1, 2], может быть дополнен стадией протекания синергетических процессов (табл. 1).

Таблица 1

Физико-химические процессы, происходящие при самовозгорании угля в ЗГН

Этапы	Состав трехфазной системы	Физико-химические процессы в системе
Инициирование при материнской температуре массива	- углерод (уголь); - пирит; - вода пластовая; - метан	- механическая деструкция пласта (разрушение меж- и внутримолекулярных связей, образование радикалов, трещин); - разрыхление угля; - дренирование метана; - эффект Джоуля-Томсона
Эффузивные процессы	- то же и: - ацетилен; - кислород; - вода внешняя (атмосферная); - бактерии	- переход ацетилена в газовую, энергетически нестабильную фазу в макротрещинах; - поступление в уголь воздуха, воды, бактерий; - формирование в макротрещинах областей с повышенным содержанием кислорода
Синергетические процессы химического и биохимического самонагрева до 60...70 °С	- то же и: - продукты окисления радикалов (в т.ч. H ₂ O, CO, CO ₂)	- окисление радикалов; - окисление ацетилена; - распад ацетилена - размножение бактерий; - выщелачивание пирита (химическое и биохимическое); - нагревание и окисление угля
Диффузионное самонагревание до критической температуры самовозгорания	- то же и: - продукты реакций (газ, жидкость, твердые вещества); - десорбированный метан	- прекращение деятельности бактерий; - увеличение скорости диффузионных процессов; - приток свежего воздуха в пласт
Возгорание	- то же	- возгорание серы, пирита метана и угля

Таким образом, установленная возможность протекания синергетических процессов при формировании очагов самонагревания в деформированном угольном пласте позволит развить взгляды на механизм формирования ОС угля, что необходимо для совершенствования способов профилактики самовозгорания угля.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Предупреждение и тушение подземных эндогенных пожаров в труднодоступных местах/ [Костенко В.К., Булгаков Ю.Ф., Подкопаев С.В. и др.]; под ред. В.К. Костенко. – Донецк: Изд-во «Ноулидж» (донецкое отделение), 2010. – 253 с.
2. Костенко В.К. Особенности динамики газовых смесей в трещиноватом горном массиве/ В.К. Костенко, Е.Л. Завьялова // Горный информационно-аналитический бюл. Тематическое приложение «Аэрология». – М.: Изд-во МГГУ, 2005. – С. 134 – 143.
3. Звягильский Е.Л. Опыт исследования низкоуглеродистой газовой составляющей шахтопластов шахты им. А.Ф. Засядько с целью безопасной добычи угля/ Е.Л. Звягильский, А.Н. Сукачев, Б.В. Бокий. – Севастополь: «Вебер», 2004. – 40 с.
4. Айвазов Б.В. Основы газовой хроматографии. – М.: Высшая школа, 1977. – 182 с.
5. Костенко В.К. Параметры областей повышенных температур угля во вскрытых выработками зонах геологических нарушений / В.К. Костенко, Е.Л. Завьялова, В.В. Чистюхин // Изв. Донецкого горного ин-та. – 2006. – № 1. – С. 191 – 200.