

3. Булат А.Ф. Научно-технические основы создания шахтных когенерационных энергетических комплексов / А.Ф. Булат, И.Ф. Чемерис. – К.: Наукова думка, 2006. – С. 53-55
4. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – К.: Основа, 1994. – С.3-53.
5. Методическое руководство по оценке ресурсов углеводородных газов угольных месторождений как попутного полезного ископаемого. – М.: Ротапринт Мингео СССР, 1988. – 107 с.
6. Денисенко В.П. Классификация по качеству метановоздушных смесей, извлекаемых из угольных месторождений дегазацией / В.П. Денисенко, Е.В. Абакумова, Н.Н. Лепило // Сборник научных трудов ДонГТУ. – Алчевск, ДонГТУ, 2009. – № 29. – С. 82-90.
7. Малышев Ю.Н. Комплексная дегазация угольных шахт / Ю.Н. Малышев, А.Т. Айруни – М., Академия горных наук, 1999. – С. 284-321.

УДК: 622. 475

Д-р техн. наук Костенко В.К.,
инж. Бокий А.Б.
(ДонНТУ)

ОСОБЕННОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ МЕТАНА ИЗ ГАЗОНОСНОГО МАССИВА ПОД ВЛИЯНИЕМ ГОРНЫХ РАБОТ

Розглянуто механізм формування техногенних колекторів газу в порушених породах та особливості виділення вільного метану в гірничі виробки на шахтах «Західно-Донбаська» і «Південнодонбаська» № 3.

FEATURES OF METHANE EMISSION FROM GAS-CONTAINING MASSIVE UNDER EFFECT OF MOUNTAIN WORKS

A mechanism of generation of technogenic gas reservoir in the dislocated rock and feature of methane emission in mine workings are considered in the «Zapadno-Donbasskaya» and the «Yuzhnodonbasskaya» № 3 mines.

В пределах горных отводов горнодобывающих предприятий принято выделять следующие места и ситуации, способствующие образованию и сосредоточению свободного метана:

- природные скопления («газовые ловушки», «сладкие точки») в нетронутом горными работами углепородном массиве.
- угольные пласты и слои газоносных пород в области влияния горных работ;
- оработанные участки массива, из которых извлечены промышленные запасы угля;
- коллекторы подземных вод с растворенными в них газами.

Однако нередко в горной практике возникают случаи, когда происходит сочетание вышеназванных ситуаций, что приводит к изменению режима выделения метана в горные выработки. Они являются потенциально опасными с точки зрения промышленной и экологической безопасности.

Изменение характера метановыделения из массивов, подвергшихся влиянию горных работ, достаточно наглядно проявляется при авариях. Деформации, происходящие во вмещающей горную выработку породной толще, являются причиной изменения агрегатного состояния содержащегося в угольных пластах метана и перехода его в свободное состояние. Для обратной сорбции основной части освобожденного метана в уголь необходимо значительное время,

измеряемое десятками и сотнями лет. В силу незначительной проницаемости горного массива этот газ не может найти выход и находится под высоким давлением в поровом пространстве. Когда к области, содержащей свободный газ, приближается другая горная выработка, появляется выход для его выхода через образующиеся трещины горного давления. Бурное истечение газа приводит к нарушению нормального вентиляционного режима в горной выработке и нередко приводит к авариям, например пожарам.

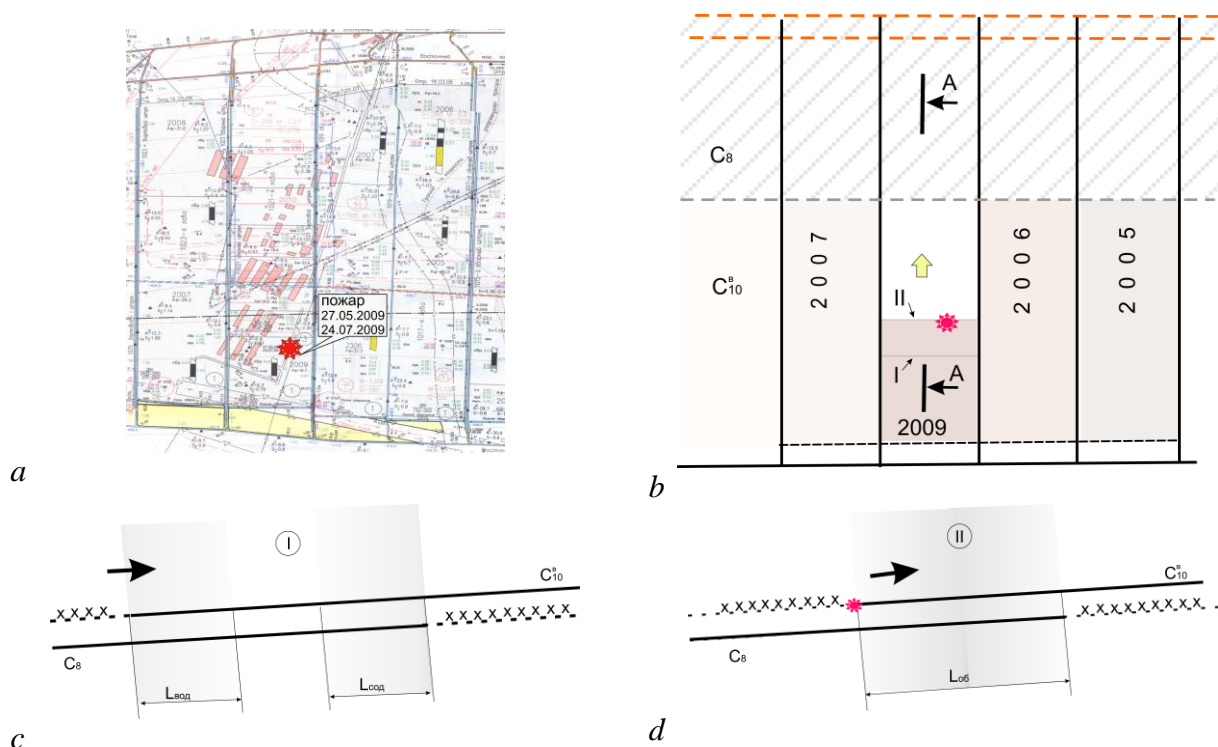
В качестве примера изменения характера метановыделения из пласта под влиянием горных работ можно привести пожар, который произошел на шахте «Западно–Донбасская» производственного объединения «Павлоградуголь» в мае–июле 2009 года. Шахта разрабатывает пласты угля Самарской свиты c_{10}^s и c_8 , вскрытые вертикальными стволами на горизонтах 460 и 480 м, сверхкатегорные по метану, абсолютная газообильность составляет около $59 \text{ м}^3/\text{мин}$. Мощность междупластья 20 м. Схема подготовки шахтного поля – погоризонтная, система разработки – столбовая. Способ проветривания шахты – всасывающий, схема проветривания – центральная. Общешахтный расход воздуха составляет около 9 тыс. $\text{м}^3/\text{мин}$.

Лавы 1021 отрабатывала по восстанию пласт c_{10}^s мощностью около 1,05 м, угол падения пласта 4 град. Протяженность выемочного столба составляла около 1600 м, оборудованная механизированной крепью КД-80 с комбайном УКД-200 и конвейером СП-250 лавы имела длину 200 м. Нижележащий пласт c_8 был отработан в 1984–1987 годах. Нижняя граница выработанного пространства этого пласта находилась в 500 м выше по падению (в плане) от разрезной печи лавы № 1021.

Выемочный столб лавы № 1021 был оконтурен ранее отработанными лавами и представлял собой целик угля, часть которого была подработана лавами пласта c_8 (рис. 1б). В процессе отработки лавы № 1021 произошло спонтанное увеличение выделения газа из пласта, что привело, по словам очевидцев, к кратковременному опрокидыванию вентиляционной струи и сопровождалось возгоранием метана в очистной выработке.

Ретроспективный анализ горнотехнической ситуации, приведшей к аварии, показал следующее. Интенсификация метановыделения произошла вследствие приближения очистного забоя к участку горного массива с повышенным содержанием свободного метана. Как известно, переход содержащегося в углях и горных породах метана из связанного в свободное состояние происходит вследствие изменения напряженно-деформированного состояния среды [1]. Поэтому по периметру любой горной выработки существуют области свободного метана. При наличии коллекторов в виде трещин, макро- и мезопор происходит миграция газа из этих областей в горные выработки. Отсутствие коллекторов определяет наличие свободного метана в угле и породах под высоким давлением.

Можно утверждать, что в результате подработки в пласте c_{10}^6 сформировалась зона стационарного опорного давления, и соответственно высвобождения метана, вблизи контура выработанного пространства пласта c_8 (см. рис. 1с). В этой зоне коллекторы для дренажа свободного метана отсутствовали, так как вмещающие пласты глинистые породы отличаются низкими фильтрационными и диффузионными характеристиками, следовательно, газ находился под повышенным давлением.



a – фрагмент плана горных выработок по пласту c_{10}^6 ; *b*- совмещенная по пластам c_8 (выработанное пространство заштриховано) и c_{10}^6 схема развития горных работ на горизонте; *c* и *d* сечения А-А при положениях очистного забоя I и II; L_{cod} , L_{bod} , L_{ob} – протяженность зон опорного давления, соответственно, стационарной, временной и объединенной

Рис. 1 – Аварийная ситуация при пожаре в лаве № 1021 шахты «Западно-Донбасская» объединения «Павлоградуголь»

В процессе ведения очистных работ по пласту c_{10}^6 подобная зона формировалась впереди очистного забоя и перемещалась по мере его подвигания. Высвобождающийся в этой зоне метан стабильно мигрировал по коллекторам в сторону очистной выработки, обеспечивая метановаделение из пласта. Существенным отличием состояния метана в стационарной и временной зонах является значительно большая величина газового давления в первой из них. Это объясняется двумя причинами. Величина давления свободного метана в пласте обусловлена диффузией газа из блоков монолитного угля в мажблоковое пространство. Блоки оконтурены трещинами,

возникающими и развивающимися под влиянием горных работ. Диффундирование продолжается до тех пор, пока давление внутри блока и на его поверхности не выравнивается. Этот процесс относительно медленный, лабораторные исследования показали, что он продолжается в течение периода, измеряемого неделями и месяцами, в зависимости от величины блоков и метанообильности пласта. Стационарная зона существует достаточно долго для полного выделения газов. Во временной зоне реализоваться полностью диффузия не успевает. Кроме того во временной зоне существуют коллекторные каналы по которым часть метана удаляется из пласта, что определяет снижение уровня газового давления в нем.

После приближения лавы № 1021 на расстояние около 200 м к проекции контура выработанного пространства пласта c_8 произошло слияние зон опорного давления (см. рис. 1d). Дальнейшее приближение лавы к ранее сформировавшейся стационарной зоне опорного давления сопровождалось усилением притока свободного газа к коллекторам и, соответственно, интенсификацией выделения метана в лаву. Причиной возгорания газа в такой ситуации мог быть отрицательный эффект Джоуля-Томсона, сопровождающийся нагревом флюида, истекающего из перекрытых пористой средой (угольной мелочью) малых отверстий [2].

На шахте «Южнодонбасская» №3 исследовано взаимное влияние горных работ при отработке сближенных пластов. Горнотехническая и горно-геологическая обстановка была следующая. Выемка угля работающими по падению 5-й – 7-й западными лавами на верхнем пласте c_{13} произведена в 1985–1987 гг. Мощность пласта около 1 м. Глубина ведения горных работ 600...700 м. Лавы были оборудованы механизированными комплексами. Расположенная между ними подготавливающая выработка использовалась вначале как конвейерная, а впоследствии – как вентиляционная. Крепь выработки – металлические арки, установленные через один метр, затяжка деревянная и железобетонная. Площадь сечения выработки 16 м². В процессе эксплуатации неоднократно проводили подрывку почвы и ремонт выработки.

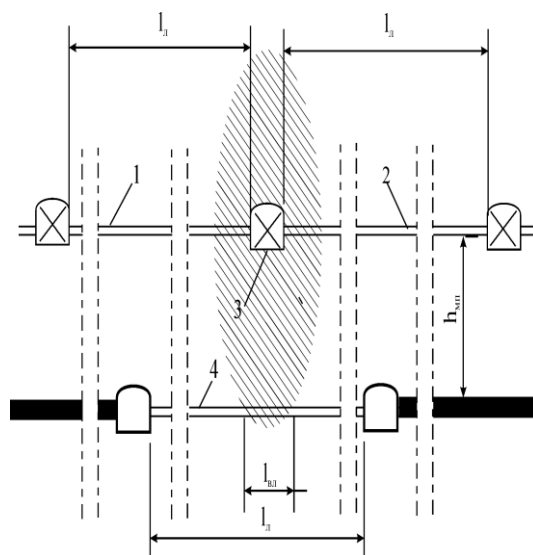
В 1990–1992 году производили отработку 5-й западной лавы по пласту c_{11} , которая была одиночной (врезной), поэтому влияния от горных работ по собственному пласту не испытывала. Длина лавы составляла 200 м. Мощность пласта 1,4..1,6 м. Расстояние между пластами c_{11} и c_{13} составляет 21,15..5,07 м.

Вентиляционная и конвейерная выработки лавы смещены относительно границ горных работ по пласту c_{13} таким образом, что подрабатываемая подготавливающая выработка находилась над серединой 5-й западной лавы пласта c_{11} (рис. 2).

При отработке 5-й западной лавы пласта c_{11} происходили обрушения непосредственной кровли пласта. Места вывалов расположены строго под подготавливающей выработкой, проведенной по пласту c_{13} . Суммарная протяженность участков обрушения кровли составляет около 600 м. Ширина этих участков составляла 30...50 м. Вывалы происходили из-за наличия в породах кровли трещин дополнительного расслоения. Ориентация зон

обрушения указывает на связь их с проведенными на вышележащем пласте горными работами.

Не вызывает сомнения, что дополнительная трещиноватость – результат активизации горного давления во вмещающих конвейерную выработку 5-й западной лавы пласта c_{13} породах, при ее проведении и последующем поддержании в период отработки двух смежных лав.



1, 2 – выработанные пространства 5-й и 6-й западных лав пласта c_{13} и погашенные подготавливающие выработки; 3 – конвейерная выработка 5-й западной лавы пласта c_{13} и зона ее влияния на окружающий массив (заштрихована); 4 – выработанное пространство 5-й западной лавы пласта c_{13}

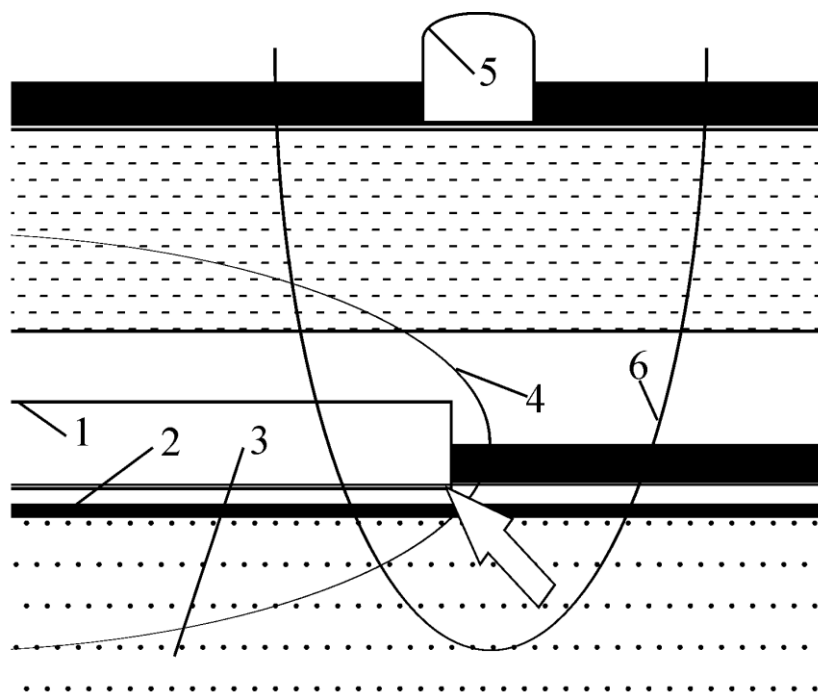
Рис. 2 – Схема развития горных работ на сближенных пластах при отработке 5-й западной лавы пласта c_{11} на шахте «Южнодонбасская» № 3

Результаты ретроспективного анализа показали, что негативное влияние зоны неупругих деформаций, образовавшейся вокруг выработки, дважды находившейся под влиянием опорного давления примыкавших лав, может достигать в условиях шахты «Южнодонбасская» № 3 величины 30...35 м в породы почвы пласта, с учетом ширины зоны проявлений на надроботанном пласте. Таким образом ведение подготовительных горных работ на сближенных, имеющих междупластье более 30м, сказывается на напряженно-деформированном состоянии соседнего. В пределах этой зоны влияния возможно формирование зон повышенного газового давления, при развитии работ в обоих пластах – фильтрация газов, то есть возникновение аэродинамических связей между выработками с разной депрессией.

Примером взаимного влияния двух подготавливающих выработок на газовую обстановку в пласте является горнотехническая ситуация, сопутствовавшая воспламенению метана в 24-м восточном конвейерном штреке шахты «Южнодонбасская» № 3, проводимом по пласту c_{11} комбайном фирмы «Андерсон». Площадь поперечного сечения выработки $S_{св} = 16 \text{ м}^2$, крепь металлическая трехзвенная податливая арочной формы, затяжка деревянная.

Нагнетательное проветривание тупиковой выработки производили с помощью вентилятора ВЦ-10 через гибкий трубопровод.

Пласт c_{11} общей мощностью 1,35...1,77 м отделен прослойком глинистого сланца от пласта c_{11}^H мощностью 0,2...0,3 м, под которым находится слой газоносного песчаника толщиной 1,35...5,4 м, а еще ниже – глинистый сланец мощностью до 15 м (рис. 3 Непосредственной кровлей является алевролит мощностью 2,5...6,3 м, над ним находится слой песчаника – 1,6...7,3 м, вышележащая толща представлена перемежающимися аргиллитами и алевролитами до пласта c_{13} , находящегося на расстоянии 21,15...25,07 м от c_{11}).



1 – 24-й восточный конвейерный штрек; 2 – пласт c_{11}^H ; 3 – слой газоносного песчаника; 4 - зона влияния 24-го восточного конвейерного штрека; 5 – конвейерный штрек 23-й лавы пласта c_{13} ; 6 – зона влияния 23-го конвейерного штрека

Рис. 3 – Схема формирования техногенного суфляра (путь прорыва газов показан стрелкой) в 24-м восточном конвейерном штреке пласта c_{11} на шахте «Южнодонбасская» № 3

Метановый суфляр был обнаружен возле левой ножки крепи в призабойной части выработки, когда расстояние от ее устья до забоя составляло 960 м, при этом забой выработки находился примерно в створе под подготовительной выработкой, пройденной тремя годами раньше по вышележащему пласту c_{13} . Не вызывает сомнения, что возникновение суфлярного выделения метана связано с взаимным влиянием подготовительных выработок.

В связи с появлением местного скопления метана была отключена электроэнергия, остановлена отбойка угля и породы, при этом над местом выделения метана возле забоя остался слой отбитой горной массы. Режим проветривания остался неизменным, производилось крепление выработки. В

это время произошло возгорание метана над отбитой горной массой. Попытки ликвидировать горение с помощью первичных средств пожаротушения не были успешными, следовали рецидивные вспышки. Из-за угрозы взрыва люди были выведены из выработки.

По прошествии несколько часов в исходящей воздушной струе воздуха следы горения исчезли, содержание метана снизилось. Разведка показала, что суфлярное выделение метана прекратилось.

Анализ обстоятельств пожара показал следующее. Причиной возникновения техногенного суфляра было влияние ранее проведенной по вышележащему пласту c_{13} подготавливающей выработки, ориентированной перпендикулярно 24-му восточному конвейерному штреку пласта c_{11} . Воздействие этой выработки на окружающий породный массив способствовало переходу метана в пластах c_{11} , c_{11}^H и расположенном под ними газоносном песчанике из сорбированного в свободное состояние. Однако газ не мог проникнуть в выработку через подстилающую пласт c_{13} мощную толщу глинистых сланцев и оставался под давлением в порах и трещинах.

При приближении забоя 24-го штрека к области массива, в которой содержался свободный газ, последний начал в виде суфляра выделяться из трещин зоны неупругих деформаций в полость выработки. Изменение напряженно-деформированного состояния горного массива под влиянием проводимой выработки способствовало дополнительному высвобождению газа из пород.

Источники высокой температуры в призабойном пространстве штрека отсутствовали. Наиболее вероятной причиной воспламенения метана был его компрессионный разогрев (отрицательный эффект Джоуля-Томсона) при движении по сужающимся трещинам и порам. Смешивание метана с воздухом происходило в перекрывавшем устье суфляра слое породы. Увеличению энтальпии способствовала значительная масса высвобождающегося газа. Несколько рецидивных вспышек, происшедших в период подавления горения порошковыми огнетушителями, песком и инертной пылью, могут быть подтверждением этого.

Выводы. Анализ производственных ситуаций, связанных с взаимным влиянием горных работ позволил получить практическое подтверждение гипотезы о влиянии техногенных деформаций газоносных пластов и пород на переход в свободную форму содержащегося в них газа.

Отсутствие каналов-коллекторов определяет высокий уровень газового давления в деформированных пластах и породных слоях. Такие скопления свободного метана при вскрытии горными выработками могут представлять производственную и экологическую угрозу.

Взаимное влияние подготавливающих горных выработок и связанные с этим изменения агрегатного состояния пластовых газов проявляются в условиях Западного Донбасса на расстоянии 30...35 м и более.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костенко В. К. Влияние очистных работ на процесс выделения метана из породного массива / В. К. Костенко, А. Б. Бокий, Е. В. Шевченко // Известия Донецкого горного института, Донецк : ДонНТУ. – 2007. – № 2. – С. 36–43.
2. Костенко В. К. Геомеханика и газодинамика самонагревания угля в подземных горных выработках / В. К. Костенко // Горн. инф.-анал. бюл. – М. : Моск. гос. горн. ун-т, 2001. – № 10. – С. 128–131.