



УДК 551.2.01

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

Кочетков С. И., Васильева И. В. (Укр ГГРИ, г. Киев, Украина)

Проанализированы фактические данные проявлений метана на примере одной из шахт Донецкой области. Рассмотрены основные причины возникновения газодинамических явлений. Охарактеризованы последствия этих явлений.

GAS-DYNAMIC PHENOMENA. CAUSES AND THEIR IMPLICATIONS

Kochetkov S., Vasilyeva I., Ukr SGRI, Kyiv, Ukraine

There are analyzed the evidence manifestations of methane on the example of one of the mines of Donetsk region. There are considered the main causes of gas-dynamic phenomena. There are characterized the effects of these phenomena.

Согласно горной энциклопедии, газодинамические явления в шахтах — разрушения массива пород под влиянием горного давления, сопровождающиеся кратковременным выделением газа (метана и др.).

Тектонически нарушенный природный угленосный массив способен порождать газодинамические проявления при нарушении его естественного состояния равновесия в процессе ведения горных работ. Главным источником сил, инициирующим газодинамические проявления, является высокий уровень действующих напряжений в силовом поле природного массива.

Наиболее опасными по газодинамическим проявлениям являются природные (естественные) аномальные зоны выпуклой, вогнутой и седловидной форм залегания пласта с градиентом кривизны примерно 0,2–0,25 км⁻¹ и более. Только в границах области тектонической нарушенности шахтопласта, включающей аномальные зоны высокого уровня напряжений, с увеличением глубины разработки возрастает частота и интенсивность газодинамических проявлений.

Техногенные аномальные (опорные) зоны повышенных напряжений, образующиеся при отработке тектонически нарушенного шахтопласта, в целом ухудшают геомеханические условия производства горных работ. В выработках, подверженных воздействию техногенных зон, обычно возрастает степень проявлений горного давления, однако опасность газодинамических проявлений существенно возрастает лишь в пределах площади совместного действия высокого уровня напряжений аномальных зон природного и техногенного происхождения.

На рис. 1 можно увидеть, что фактические проявления метана приурочены к зонам тектонических нарушений. Это могут быть нарушения разрывного характера со сдвигом пород или без него, зоны трещиноватости и дробления пород. Тектоническая природа нарушенных зон подчеркивается сопутствующим водопроявлением, что отмечено на схеме. Водопритоки в горные выработки могут наблюдаться как из пород кровли, так и из пород почвы, вследствие повышенной трещиноватости пород в зонах тектонической нарушенности. Из опыта ведения горных работ установлено, что потенциальные зоны метановыделений распространяются на расстояние 110 м по нормали от дизъюнктивных нарушений и прилегающих к ним зон в обе стороны от площади сместителя. Таким образом,



исходя из фактических данных, можно выделить потенциально опасные зоны по газодинамическим явлениям на шахтном поле.

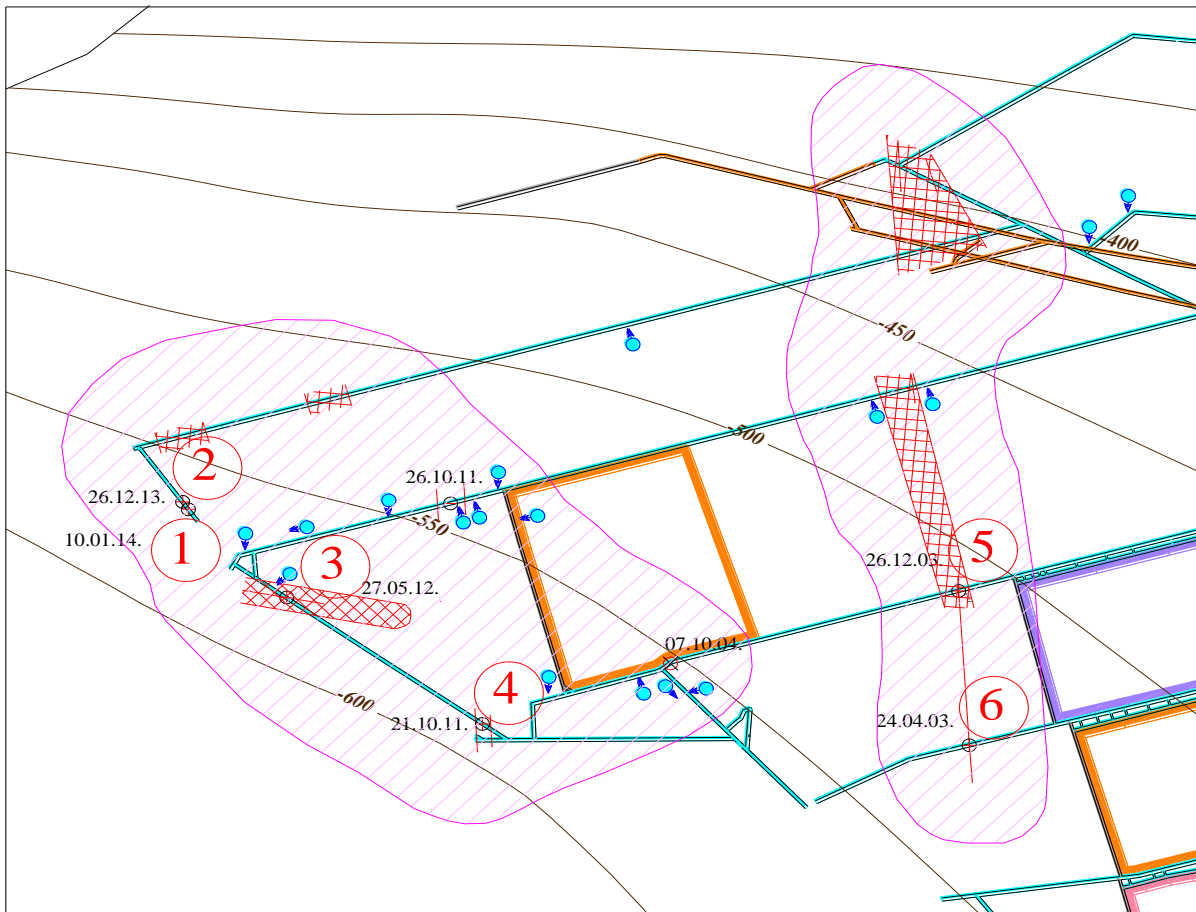


Рис. 1. Карта-схема участка шахтного поля (пласт Iз) с вынесением потенциально опасных зон метановыделения

О последствиях проявлений метана можно судить исходя из следующих фактических данных (нумерация соответствует участкам фактического метанопроявления на карте-схеме (рис. 1)):

1. 10.01.2014 г. Выброшено 145 т угля, 5088 м³ метана, отброс угля на 13,3 м по выработке, загазирование в течение 5 часов 46 мин.
2. 26.12.2013 г. Выброшено 134 т угля, 3700 м³ метана, отброс угля на 14 м по выработке, загазирование в течение 13 часов 50 мин.
3. 27.05.2012 г. Выброшено 206 т угля, 1350 м³ метана, отброс угля на 36 м по выработке, загазирование в течение 15 часов 15 мин.
4. 21.10.2011 г. Выброшено 360 т угля, 7940 м³ метана, отброс угля на 36 м по выработке, загазирование в течение 4 часов 55 мин.
5. 26.12.2003 г. Выброшено 480 т угля, 14400 м³ метана, засыпано 27 м выработки, загазирование в течение 8 часов.
6. 24.04.2003 г. Выброшено 880 т угля, 19 000 м³ метана, засыпано 117 м выработки, загазирование в течение 40 часов.

Все эти случаи выбросов метана были спровоцированы сотрясательным взрыванием. Сотрясательное взрывание является средством борьбы с внезапными выбросами угля и газа, которое основано на использовании свойств отдельных угольных пластов давать выбросы при ведении горных работ. Дегазация угольного пласта, проводимая подобным



образом, сопровождается вероятностью внезапного высвобождения некоторых объемов сорбированных молекул метана. Как видно из статистических данных, при определенном сочетании факторов этот процесс может реализоваться в газодинамическое явление. Сама разработка угля довольно часто сопровождается газодинамическими проявлениями горного давления, которые в настоящее время относят к "непонятным по происхождению". На сегодняшний день существует много версий объяснения причин ГДЯ и мы не будем останавливаться на их критическом анализе, тем более, что для этого требуется специальная подготовка. В основном они сводятся к трем позициям.

1. Причина выбросов заключается в наличии газа, аккумулированного в процессе угленакопления.

2. Возникновение выбросов обусловлено силами горного давления веса налегающей толщи пород в сочетании с определенными физико-механическими свойствами подверженных выбросу пород.

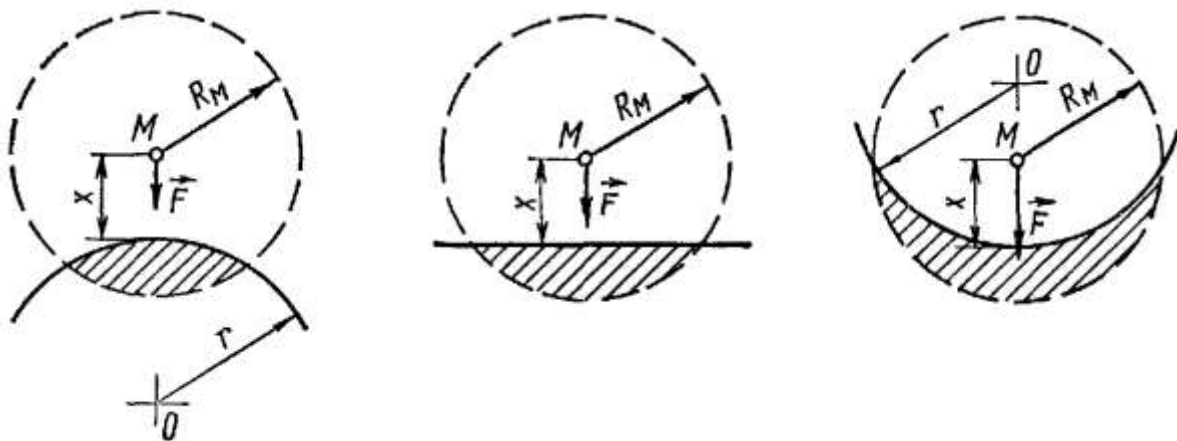
3. Выбросы провоцируются тектоническими напряжениями в породах земной коры, величина которых существенно больше возникающих гравитационных напряжений от веса пород налегающей толщи.

Единственное, что отсутствует практически во всех объяснениях – это анализ физико-химического состояния поверхности порового пространства угольных пластов и характер их смачиваемости. В монографии Алексева [1] рассматривается проблема сорбции молекул воды и метана, но как-то в стороне остается такое явление, как капиллярной конденсации водяных паров. В атмосферном воздухе всегда присутствуют пары воды при некотором парциальном давлении P , которое, как правило, меньше давления насыщенного пара P_0 . Отношение P/P_0 , выраженное в процентах, называется относительной влажностью воздуха. Если изотермически сжимать ненасыщенный пар при $T < T_{кр}$, то его давление будет возрастать, пока не станет равным давлению насыщенного пара. При дальнейшем уменьшении объема образуется жидкость и устанавливается динамическое равновесие между жидкостью и ее насыщенным паром. Рассмотрим процесс формирования атмосферы угольного пласта. Движущими силами преобразования растительных остатков является возрастающие температура и давление вышележащих пород по мере погружения на все большую глубину. Газы и вода являются побочными продуктами процесса углефикации, в результате которого исходные растительные клетки теряют часть водорода и кислорода в виде воды, метана и других газов. Давление вышележащих пород и выход образующихся газообразных продуктов создают характерную дисперсную пористо-трещиноватую структуру ископаемых углей с размерами пустот в диапазоне семи порядков – от соизмеримых с размерами молекул метана (диаметр 0,414 нм) и воды до трещин с просветами в несколько миллиметров. Метан в угле находится в трех фазовых состояниях: 1) в свободном виде в фильтрационном объеме и закрытых порах; 2) в абсорбированном виде в блоках угля (твердый раствор); 3) на поверхности закрытых и открытых пор (адсорбированный метан). Наибольшее количество метана, порядка 60–70 %, находится в закрытых порах. Это позволяет думать, что концентрация водяных паров происходит только в наиболее крупных порах и трещинах. Погружение пластов на глубину способствует герметизации порового пространства и повышению внутривпорового давления. Морфология порового пространства углей очень разнообразна: это поры в основном сферической и цилиндрической формы во всевозможных сочетаниях размеров и сечений, наложенных усложнений в виде пережимов и сужений. Имеется большое количество закрытых и тупиковых пор, которые могут являться апофизами трещин и крупных пор.

В контексте вышесказанного, в крупных порах, при соответствующем давлении, пары воды, имея более высокое парциальное давление, конденсируются в жидкость, которая стабилизируется межмолекулярными водородными связями, тогда как метан продолжает



оставаться газом. Образовавшаяся жидкость встраивается в тупиковые поры или пережимы поровых каналов. В [1] отмечается, что молекулы воды адсорбируются на любой гидрофильной поверхности, а практически все гидрофобные адсорбенты имеют на своей поверхности гидрофильные центры адсорбции. Их активными центрами являются различные π -связи, одиночные электронные пары, катионы малых радиусов, кислородсодержащие группы, радикалы CH , CH_2 , CH_3 . Именно на гидрофильных центрах в первую очередь и адсорбируются молекулы воды. Это обстоятельство приводит к локализованному характеру адсорбции воды на углях при малых степенях заполнения его поверхности. Однако какие-либо сведения о состоянии молекул адсорбированной воды на гидрофобных адсорбентах с различной концентрацией и полярностью гидрофильных центров в литературе отсутствуют. С другой стороны, экспериментально установлено [2], что угли пластов как опасных, так и не опасных по выбросам, не отличаются по своим сорбционным характеристикам. Видимо распределение влаги в пустотном пространстве угля является определяющим. Она не может покрывать всю поверхность крупных пор и трещин в виде сорбционного слоя, тем более, что большая часть этой поверхности занята молекулами метана. Влага должна заполнить тупиковые поры и пережимы поровых каналов по принципу капиллярной конденсации. При этом в зависимости от преобладающего типа смачивания образуются мениски вогнутой или выпуклой формы. При конденсации влаги давление в пустотном пространстве снижается и сюда может быть направлен диффузионный поток метана из твердого раствора и закрытых пор. Сам угольный пласт испытывает постоянное давление вышележащих пород. В то же время и сконденсировавшийся пар при вогнутой поверхности мениска провоцирует сжатие порового пространства. Всё это повышает давление в объеме и заставляет растворяться метан в жидкой фазе. Из возможных компонентов газа в атмосфере угля метан обладает наибольшей растворимостью в воде. Калберсон и Мак-Кетта (1951) установили, что растворимость метана в воде увеличивается с давлением. Механизм растворения можно прокомментировать следующим рисунком.



На нем приведены случаи плоской поверхности, а также выпуклого и вогнутого мениска. Во всех трех вариантах пунктиром показана сфера молекулярного действия молекулы метана M , переходящей из газовой фазы в жидкость. Заштрихованная часть этой сферы заключена внутри жидкости. При одном и том же расстоянии X молекулы метана от поверхности влаги сила притяжения F зависит от формы этой поверхности и в случае вогнутого мениска она наибольшая. Отсюда понятно, почему при прочих равных условиях сорбция метана



сконденсованої вологи залежить від смачиваності поверхні пор. Швидше за все, в достатньому кількості метан сорбується саме вигнутими менисками. О смачиваності поверхні вугля інформації практично немає. В роботі [3] показано, що хімічний склад вугля суттєво впливає на величину крайового кута смачивання θ . В частині, величина крайового кута зростає приблизно на 30° при збільшенні вмісту вуглецю С в вуглі на 20 %, а водню на 2 %. Великий вміст в вуглі кисневих груп O+N+S призводить до зменшення значення θ . В залежності від типу вугілля кут смачивання змінюється від 75 до 114° .

В вугільному пласті, як і в будь-якій системі, внутрішнє стан прагне до рівноваги. Складене рівноважне стан між газоподібним і сорбованим метаном порушується при зміні тиску газу. При його збільшенні починається сорбція, а при зменшенні відбувається процес десорбції. При відкритті породи і вугля виробками відбувається різкий спад тиску до рівня атмосферного тиску в виробці. При цьому пори, що містять воду з сорбованим метаном, стають свого роду мікродетонаторами, бо в них в результаті кавітаційного ефекту відбувається різкий вибух газу. Це чимось нагадує неаккуратне відкриття шампанського.

Слід відзначити, що великої сили раптові вибухи відбуваються і при підземній розробці калійних солей. В Німеччині був зафіксований вибух близько 100 000 т калійної солі і декількох сотень тисяч кубічних метрів газу (газ виходив в теченні 25 хв). При цих явленнях виділяється головним чином вуглекислий газ. Характерно, що при розробці калійних солей вибухи відбуваються тільки там, де порода містить газонесучий розсіяний вугілля [4].

Раптові вибухи солі і газу, так же як і раптові вибухи вугля і газу, відбуваються головним чином в зонах геологічних порушень, що характеризуються високою пористістю. На малюнку, де представлено тільки фрагмент шахтного поля, зони тріщинуватості (можливо краще їх називати зонами пористості) обмежені в розмірах. Статистика ГДЯ, наведена в початку статті, однозначно вказує на те, що вибухи при сотрясательном вибуванні відбуваються як би вибірково, з різною потужністю і тривалістю в часі. Це дозволяє вважати, що масштаб явища залежить від кількості залученого в процес метану. Кількість метану визначається вміщуючим його об'ємом пористого простору. Локалізація ділянок підвищеної небезпеки може бути довільною в межах тектонічно ослаблених зон, але швидше за все це місця їх перетинів. В них частіше за все спостерігаються взаємні зміщення, зміщення, що ускладнюють структуру пористості пережимами, відхиленнями тріщин і порових каналів. В них при зростаючому загальному тиску відбувається капілярна конденсація водяних парів і блокування. Це процес, видимо, триває дуже довго, поки в певний момент не буде сформована ізольована ділянка підвищеної пористості. Процес сорбції метану проходить по описаному вище механізми.

Слід ще раз підкреслити, що капілярна конденсація відбувається на гідрофільних центрах і поверхні. В зв'язі з цим необхідно, як мінімум, проведення лабораторних досліджень смачиваності, фільтраційно-ємкостних характеристик і хімічного складу вугля і вміщуючих порід. Впевнено можна сказати, що різниця в смачиваності робить розроблювані об'єкти небезпечними і безпечними по ГДЯ. Вже якщо вугілля (можливо антрацит) має великий кут смачивання, на його поверхні в місцях звуження пор не конденсується вологи, не формуються ізольовані пористості, не утворюються вигнуті мениски і не сорбується метан. Т. є. не виникає детонуючих елементів.

Таким чином, дослідження природної газонесучості, геологічних факторів і фізико-хімічних процесів, що визначають утворення, накопичення і збереження газів



II Міжнародна науково-практична конференція "Актуальні питання моніторингу і наукового супроводження надрокористування та геологічної експертизи "Геомоніторинг-2014",
7–13 вересня 2014 р.

в угольной толще, а также оценка характера выделения газов в горные выработки – это первоочередные задачи научного сопровождения процесса разработки шахтных полей. От их решения зависит выбор комплекса мероприятий по обеспечению безопасности труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев А. Д.* Физика угля и горных процессов. НАНУ Институт физики горных процессов, Донецк, 2009.
2. Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. М.: Недра, 1978.
3. *Архипов В. А.* и др., Определение характеристик смачиваемости порошковых материалов, Известия высших учебных заведений Т. 55. № 7/2. Физика, 2012.
4. *Петросян А. Э.* и др., Исследование процессов возникновения внезапных выбросов угля и газа. М.: Наука, 1978.