

УДК 622.235.22:622.23

ОХРАНА ТРУДА КАК РЕЗУЛЬТАТ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ СРЕДСТВ И СПОСОБОВ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Калякин С.А., Шевцов Н.Р.
ДонНТУ

Исследован вопрос влияния способов разрушения горных пород на безопасность и охрану труда в угольных шахтах, в результате установлено, что только способ гидровзрывания может обеспечить взрывобезопасность работ на выбросоопасных угольных пластах.

Охрана труда есть комплексная система законодательных актов, социально-экономических, организационных, технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда. Взрывобезопасность производственных процессов является неотъемлемой частью системы охраны и безопасности труда на технологических выемочных и подготовительных участках угольных шахт. Вместе с тем, на этих участках угольных шахт, где широко применяются разные способы разрушения горных пород – взрывные работы и комбайновая выемка, происходит основная часть воспламенений метановоздушной смеси (МВС) и пылевоздушной смеси (ПВС), равная примерно 80% от общего их числа при авариях, связанных с взрывами взрывоопасной среды. Поэтому повышение безопасности работ при применении способов разрушения пород в угольных шахтах является актуальной проблемой, имеющей важное научное и практическое значение.

Анализ последних исследований и публикаций показал, что взрывные работы, отличающиеся высокой эффективностью, находят широкое применение в угольных шахтах. Тем не менее, при добыче угля и проведении горных выработок по некрепким горным породам весьма распространенным способом разрушения является механический с использованием горных машин, оборудованных рабочими органами – резцами и фрезами для послойной выемки породы. Оценка удельных энергозатрат, характерных для каждого из упомянутых способов разрушения горной массы, показывает, что механический способ не может конкурировать со взрывным. Энергозатраты на 1 тонну разрушенной породы при механическом способе разрушения составляют в среднем 10^9 Дж/т, а при взрывном – только $5 \cdot 10^5$ Дж/т. В угольных шахтах при разрушении горного массива каждый цикл работ потенциально связан с вероятностью

образования в забое выработки взрывоопасной среды. Это очень часто приводит к авариям, связанным со взрывами взрывоопасной среды. Только в течение одного 2007 года произошли две катастрофы: в марте на шахте «Ульяновская» (Кузбасс) в результате взрыва погибло 110 шахтеров, а в ноябре на шахте им. А.Ф. Засядько (Донбасс) в результате трех последовательных взрывов погибло 106 шахтеров и 158 ранено. Эти катастрофы вызвали у специалистов множество проблемных вопросов о перспективах дальнейшего развития угольной промышленности.

Основные проблемы связаны с повышением безопасности работ при разрушении и добыче угля на шахтах с высоким выделением метана и склонных к внезапным выбросам газа и угля. Многолетний опыт разработки безопасных средств и способов разрушения горных пород показал, что можно создать высоко предохранительные взрывчатые вещества (ПВВ), которые могут безопасно применяться при взрывных работах в угольных шахтах, тогда как безопасные горные машины создать пока не удалось, как не удалось создать и надежные системы взрывозащиты при их использовании. Поэтому развитие и совершенствование безопасных и эффективных средств и способов разрушения горных пород является актуальной научно-технической проблемой, связанной с повышением техники безопасности и охраны труда в угольных шахтах.

Целью работы является обоснование безопасных условий труда как результата использования в забоях горных выработок гидровзрывного способа разрушения угля и горных пород, обеспечивающего взрывобезопасность технологии добычи угля и проведения горных выработок.

Современная техника взрывобезопасности в угольных шахтах основывается на трех принципах предотвращения взрывов газопылевоздушных смесей. Первый заключается в исключении образования взрывоопасной среды путем интенсивной вентиляции горных выработок, осланцевания отложений из пыли, смыва угольной пыли и т.д. Практика ведения горных работ показала, что динамика выделения метана из разрабатываемых пластов угля в выработки может быть спокойной, в виде суфляра из закрытых полостей или внезапной. При внезапных выбросах угля и газа количество выделившегося метана может на порядок превышать величину природной метаносности угольного пласта. В этом случае возникает заведомо взрывоопасная среда. Поэтому необходимо использовать комплекс мероприятий для обеспечения взрывобезопасности на основе второго принципа: предотвращения

возникновения источников, инициирующих взрыв образованной взрывоопасной газо-пылевоздушной среды. К таким источникам можно отнести открытое пламя пожара или пламя при дефлаграции ВВ, ударные волны, продукты взрыва детонирующего заряда, электрические разряды, нагретые твердые тела, пиррофорное искрение.

В тех случаях, когда нельзя исключить возможность возникновения опасных для взрывоопасной среды источников, способных вызвать ее воспламенение, реализуют третий принцип обеспечения взрывобезопасности за счет выполнения взрывозащиты, при которой возможный очаг горения или взрыва был бы локализован и ликвидирован без катастрофических последствий.

Таким образом, развитие аварии на угольной шахте потенциально связано с нарушением всего комплекса мер и мероприятий по обеспечению взрывобезопасности, в результате чего происходит образование взрывоопасной среды, возникает источник для ее воспламенения и система взрывозащиты по какой-то причине не способна локализовать и ликвидировать очаг воспламенения. Такая ситуация может возникнуть, если работниками шахт полностью игнорируются «Правила безопасности в угольных шахтах», нормативно-техническая документация по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по выбросам угля (породы) и газа, «Единые правила безопасности при взрывных работах», а технические средства контроля параметров безопасности работ не совершенны. Подобная ситуация может быть и в результате возникновения аварийно-опасных режимов работы шахты, связанных с проявлением неизвестного фактора, влияющего на поведение угольного пласта в процессе изменения геомеханического состояния пород и органического угольного вещества. Последнее высказывание сделано не случайно, так как ряд ответственных лиц, специалистов и ученых в объяснении причин последних катастроф на угольных шахтах склоняются именно к такой позиции, то есть проявления на угольных пластах неизвестных науке природных явлений, подчеркивая тем самым «слабость» горной науки и отсутствие в ней должного фундаментализма. С этим нельзя согласиться, и в этом вопросе необходимо поддержать мнение, высказанное в печати проф. В.И. Николиным, который четко отделил понятие научного подхода в решении проблем горного производства в опасных условиях шахт от погони за сверхприбылью путем пренебрежения известными основными принципами безопасности при чрезмерной интенсификации производства добычи угля.

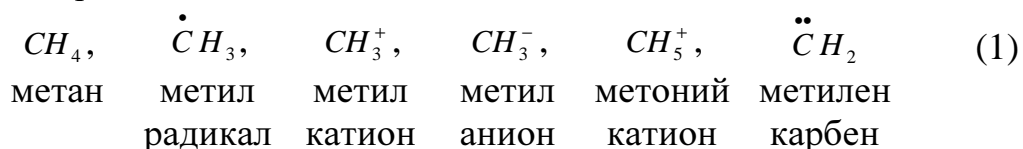
В связи с этим в данной работе приводятся результаты последних исследований, сделанных в ДонНТУ, ВостНИИ, ИПКОН РАН и ИФГП НАН Украины.

В последние годы в ИГТМ НАН Украины и в ИПКОН РАН России проводятся исследования, посвященные изучению особенностей атомной структуры ископаемых углей и изменения микроструктуры деформируемого угля выбросоопасных пластов [1,2]. Анализ результатов этих работ позволил уточнить механизм выхода растворенного метана из твердого угольного вещества и условия перехода стабильной системы «угольное вещество – метан» в метастабильное состояние. В зонах метастабильного состояния образуется высокодисперсный крайне реакционный уголь и происходит изменение его физико-химического состояния и состава. В результате высокодисперсные фазы разрушаемого угля, включая наночастицы, могут образовываться в угольном пласте при изменении его напряженно-деформированного состояния в процессе разработки. Зоны высокодисперсного угля являются зонами нестабильности, в которых происходит переход метана из связанного в свободное состояние при разгрузке или разрушении угольного пласта. На выбросоопасных пластах высокодисперсный уголь, содержащий наночастицы, по объему может составлять десятую часть от общей добычи массы угля. Возможно, последний вывод с учетом высокой проникающей и реакционной способности наночастиц усилит осознание большого влияния высокодисперсных фракций разрушаемого угля на безопасность труда рабочих и взрывоопасность горных выработок. Действительно, при суточной добыче из очистного забоя 2000 т/сут. образуется около 200 т высокодисперсной пыли, из которой примерно половина оседает в горных выработках. При норме осланцевания 50% для перевода угольной пыли в невзрывчатое состояние потребуется ежедневно около 100 т инертной сланцевой пыли только для осланцевания выработок одного добычного участка. Масштаб этих работ по осланцеванию выработок всей шахты трудно представить.

Не менее важные исследования проведены Шахтинским центром ВостНИИ [3]. Угলেখимическими исследованиями установлено, что мостиковые связи между атомами в составе органической массы углей представляют собой связи пониженной прочности. При разрушении пласта происходит повышение дефектности углеродо-кислородных и углеродо-водородных мостиков, которое приводит к образованию активных фрагментов структуры угля, отличающихся нестабильностью. При их разрушении

относительное выделение метана из угля возрастает в 1,5-3 раза. Это приводит к резкому увеличению выхода метана при разрушении угля, который в несколько раз превышает его природную метаноносность. Учитывая ограниченные возможности вентиляции выемочных участков при высоких нагрузках, возрастание в таком количестве выделения метана приведет к образованию взрывоопасных концентраций МВС при работе очистного комбайна. Возникает дилемма: работать с «белой шкалой», «загрубив» датчики метана или покинуть участок до полного его проветривания. В данной ситуации многие специалисты, считая себя «академиками» горного дела, в силу меркантильного интереса и консервативного мышления дают команду продолжать работать, преступно полагая, что для воспламенения взрывоопасной МВС необходим источник с высокой температурой, да еще нужно и необходимое время индукции, в течение которого он должен существовать. Это заблуждение дорого обходится шахтерам.

Коварство органического углеводородного угольного вещества заключается в существовании в нем промежуточных продуктов, содержащих углерод с координационным числом от одного до пяти [4]. До недавнего времени наши классические представления о промежуточных соединениях углеводородов ограничивались лишь знаниями о радикалах, катионах и анионах:



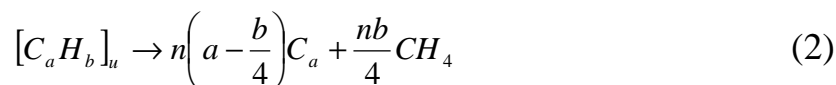
Молекулы, содержащие двухвалентный углерод, считались слишком нестабильными и редко встречающимися на практике. Однако в последние годы положение изменилось, и радикалы двухвалентного углерода стали хорошо известны, они были обнаружены и в самой структуре угля, и в продуктах его распада. Карбеновый углеродный атом имеет два несвязанных электрона и представляет собой очень активный радикал. Оценить термодинамическую устойчивость карбена по отношению к другим промежуточным продуктам можно, последовательно отрывая атомы водорода от метана и сопоставляя тепловые эффекты разных стадий этого процесса (см. табл.).

Как видно из приведенных реакций, процесс образования метилена из метильного радикала требует на 66,98 кДж/моль меньше энергии, чем образование метильного радикала из метана. Напротив, на отрыв водорода от метилена, приводящий к метиновой молекуле (CH), затрачивается на 92,1 кДж/моль больше энергии.

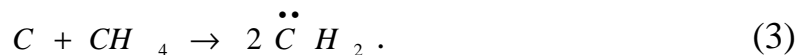
Таблица – Тепловые эффекты разных стадий реакции образования промежуточных продуктов углеводорода

№	Реакция	Тепловой эффект реакции ΔH, кДж/моль
1	$CH_4 \rightarrow \dot{C}H_3 + \dot{H}$	431,6
2	$\dot{C}H_3 \rightarrow \ddot{C}H_2 + \dot{H}$	364,18
3	$\ddot{C}H_2 \rightarrow \overset{\cdot\cdot}{C}H + \dot{H}$	523,25
4	$\overset{\cdot\cdot}{C}H \rightarrow C_a + \dot{H}$	339,1

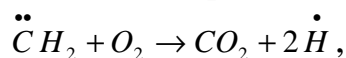
Следовательно, метилен в сравнении с метильным или метиновым радикалами легче образуется и труднее разрушается, то есть относительно стабилен. Устойчивость метилена позволяет ему накапливаться при реакции разложения твердого раствора метастабильной системы из органического вещества угля и метана. Разложение этой системы идет с образованием химически активных наночастиц углерода (C_a) и метана, которые в дальнейшем образуют метилен



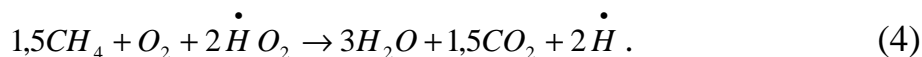
по следующей реакции:



Радикал $\ddot{C}H_2$ при наличии воздуха мгновенно реагирует с молекулой кислорода и вызывает цепное самовоспламенение имеющейся МВС по следующей схеме реакций:



Общая реакция цепного взрыва МВС имеет вид:



Возможен и иной сценарий развития взрыва продуктов разложения метастабильного раствора метана в угле через реакцию образования взрывоопасного ацетилена:



Ацетилен $H-C \equiv C-H$ самовоспламеняется без кислорода при температуре $T=330^{\circ}C$ или давлении $P=0,2$ МПа и концентрации чуть выше 2,0%.

В результате приведенных исследований установлены причины образования взрывоопасной среды и источники ее воспламенения, которые вызывают исключительно процесс детонации МВС или ацетиленоводородной смеси. В обоих случаях при детонации образуется мощная ударная волна с параметрами, достаточными для воспламенения вновь образованной в выработках метано-пылевоздушной смеси. Расчетные параметры детонационной волны для этой смеси: давление детонации составляет $1,42 \cdot 10^6$ Па, скорость движения волны 1600 м/с. Инерционные пассивные полочные заслоны просто не успевают сработать при высокой скорости ударной волны в горной выработке и локализовать взрыв в начальной стадии его развития. Автоматические заслоны типа СЛВА-1 не способны локализовать и предотвратить крупномасштабный детонационный процесс во взрывоопасной смеси в горной выработке, так как каждый из них содержит всего 40 кг пламегасящего порошка и имеет узконаправленное действие. Ситуацию в горной выработке в еще большей степени осложняет присутствие горношахтного оборудования (комбайн, крепь, конвейер), имеющего силовой электропривод, при разрушении которого ударной волной критическая ситуация только усугубляется. В результате имеем то, что имеем – катастрофы в угольных шахтах с огромными жертвами. Возникают вопросы: а как же быть дальше и где выход из сложившейся ситуации?

Ответы на эти вопросы, как ни странно, всем известны и о них говорят передовые ученые горного дела. Так, А.Д. Алексеев считает, что путь достижения эффективности и безопасности горного производства лежит только через внедрение передовых новейших технологий [5]. По-видимому, речь идет о разработке ИФГП НАН Украины способа, связанного с обработкой угольного массива водными растворами поверхностно и химически активных веществ. В результате этого изменяется физико-химическое состояние угля, снижается выбросоопасность угольных пластов, стабилизируется динамика газовыделения. Однако новейшие передовые разработки должны вписываться в технологию горного производства. Одним из наиболее важных составляющих процесса добычи угля является способ разрушения горного массива. Учитывая перспективность взрывного способа разрушения угля, его превосходство перед механическим и необходимость воздействия на уголь водных растворов поверхностно и химически активных веществ с целью перевода его в состояние, позволяющее контролировать выбросоопасность угля и газовыделение из пласта, была предложена

технология гидровзрывания зарядов ВВ в горных породах. Согласно этой технологии заряд со всех сторон должен быть окружен водой или водным раствором соответствующей соли. При гидровзрывании заряда ВВ наряду с разрушением пород происходит импульсная закачка воды или водного раствора в пласт, его предварительное рыхление и дегазация. Одновременно в призабойной части выработки идет распыление воды, снижение образования угольной пыли и интенсивности ударных волн и создается предохранительная среда из тумана и пара с параметрами, обеспечивающими взрывозащиту в горной выработке. Данная технология базируется на четких научных основах гидровзрывания в шахтах, опасных по газу и взрывам угольной пыли, разработанных в ДонНТУ, которые позволяют установить необходимые параметры способа гидровзрывания и выбор ВВ. В результате реализации этого способа в шахтах достигаются:

- высокая эффективность действия взрыва заряда ВВ в горной породе: коэффициент полезного действия взрыва возрастает на 15–20%, а удельный расход ВВ снижается в 1,5–2,0 раза;

- высокая безопасность взрывания зарядов во взрывоопасной среде: заряды ВВ при окружении их слоем воды 3–5 мм не воспламеняют взрывоопасные МВС и ПВС, а давление в ударных волнах снижается почти в 20 раз;

- снижение в 3–5 раз образование пыли при разрушении угля;

- увеличение радиуса увлажнения горного массив до 60–80 радиусов заряда ВВ за счет высокого давления ударно-сжатой воды, которое достигает половины давления детонации ВВ;

- создание взрывозащиты в горной выработке при разрушении горного массива за счет интенсивного распыления воды, солей-ингибиторов реакции окисления метана и угольной пыли и интенсивного образования тумана и пара в призабойной части;

- управление импульсным действием взрыва заряда ВВ на угольный пласт путем регулирования величины водяного зазора между зарядом ВВ и стенкой шпура (скважины), изменения темпа и скорости увлажнения массива, выбора способа инициирования заряда ВВ.

Столь замечательные результаты гидровзрывания получаются за счет того, что вода заполняет все свободное от заряда ВВ пространство шпура (скважины), проникает в трещины и микротрещины по его боковой поверхности и повышает волновой импеданс среды вокруг заряда. При гидровзрывании заряда энергия продуктов детонации ВВ идет на ударное сжатие воды и образование ударных волн в среде, окружающей заряд. За счет энергии,

передаваемой в массив ударными волнами, в нем образуется система трещин, которые заполняет и расширяет движущаяся потоком ударно-сжатая вода как рабочее тело процесса разрушения. При взрывании в угле образование трещин и разрушение структурных атомных связей в угольном веществе ведут к его дегазации и снятию напряженного состояния. Роль воды существенно возрастает при гидровзрывании на опасных угольных пластах в зонах метастабильного состояния, так как вода активно взаимодействует с образующимся по реакции (3) метиленом (карбеном), превращающимся с ее помощью в простейший спирт:



В связи с протеканием в угольном веществе реакции (6) на выбросоопасных угольных пластах полностью исключается вероятность возникновения процессов самовоспламенения МВС и образования взрывоопасного ацетилена. Таким образом, безопасность горных работ резко возрастает, а способ гидровзрывания при разрушении угля и горного массива обеспечивает необходимые условия по охране труда шахтеров.

Выводы.

1. Используемые в угольных шахтах способы разрушения горных пород не могут в полной мере обеспечить безопасные условия труда шахтеров.

2. В силу проявления «человеческого фактора» и несовершенства технических средств и способов обеспечения безопасности труда в процессе добычи угля, в ряде случаев на шахтах возникают аварийно опасные режимы работы, которые приводят к взрывам и катастрофам.

3. Углекимические исследования атомной структуры и микроструктуры твердого раствора метана в угольном веществе позволяют установить, что при его разложении возможно образование наночастиц активного углерода и метана, которые при взаимодействии между собой образуют метилен (карбен).

4. Метилен – активный радикал, способный вызывать самовоспламенение МВС или образовывать взрывоопасный и нестойкий ацетилен, который детонирует при концентрациях более 2,0% и давлении 0,2 МПа.

5. Предложен способ гидровзрывания зарядов ВВ в сочетании с поверхностно или химически активными водными растворами, действующими на угольный пласт, переводя его в выбрособезопасное состояние и дегазируя уголь.

6. При гидровзрывании происходит интенсивное разрушение угля, его увлажнение, дегазация и связывание метилена водой, превращая его в первичный спирт. В результате этого полностью исключается взрывоопасность продуктов разложения метастабильной системы «уголь-метан» и образование в ней ацетилена.

Библиографический список

1. Булат А.Ф., Скипочка С.И., Куцева Н.А. О некоторых особенностях атомной структуры ископаемых углей // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ун-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2005.– Вип. 61. – С. 3-11.
2. Трубецкой К.Н., Викторов С.Д., Галченко Ю.П., Одинцев В.Н. Техногенные минеральные наночастицы как проблема освоения недр // «Вестник Российской академии наук», Том 76, №4, апрель, 2006. – С. 318-324.
3. Фролков Г.Д., Фролков А.Г. Механохимическая концепция выбросоопасности угольных пластов // Уголь. – 2005.– №2. – С. 18-22.
4. Костиков Р.Р. Двухвалентный углерод // Соросовский образовательный журнал, 1995.–№1.– С. 67-73.
5. Алексеев А.Д. Новітні технології – надійний ключ до надр // Вісн. НАН України, 2005.– №1.– С. 24-31.

30.04.08