

Канд. техн. наук, доцент Калякин С. А.

Донецкий национальный технический университет (Украина)

ИДЕОЛОГИЯ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ, ОПАСНЫХ ПО ГАЗУ И УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

Предложена идеология взрывобезопасности шахт на больших глубинах на основе принципов, учитывающих чрезвычайную опасность процесса генерации горючих газов углем, образования наночастиц угольной пыли и человеческий фактор. В силу крайне неблагоприятного психофизиологического состояния человека при интенсивном труде на большой глубине шахт необходимо создавать технологии, обеспечивающие предотвращение техническими средствами ошибочных действий людей, взрывов и пожаров.

Введение. Добыча угля в шахтах Донбасса сопряжена с опасностью ведения горных работ, обусловленной большой глубиной разработки пластов, газоносностью горного массива и наличием выбросов угля, породы и газа. Средняя глубина разработки угольных пластов превышает 725 м, а тринадцать шахт Донбасса добывают уголь на глубине 1000...1400 м. С увеличением глубины разработки возрастают температура вмещающих угольные пласты пород, газоносность горного массива и его выбросоопасность. В настоящее время около 90% шахтопластов отнесены к газовым, 60% – к опасным по взрывам угольной пыли, 45% – к опасным по внезапным выбросам угля, породы и газа и 25% – к опасным по самовозгоранию угля.

Состояние и проблемы безопасности труда в угольных шахтах Украины даны в работах [1, 2].

С 2001 по 2008 гг. в угольных шахтах Украины произошли 14 взрывов газа и угольной пыли, 139 экзогенных и 46 эндогенных пожаров, 564 газодинамических явления (ГДЯ), 157 завалов и 7 затоплений действующих горных выработок. Общий смертельный травматизм в угольной промышленности Украины составил в среднем около 2,5 чел. на 1 млн. тонн добычи угля. Наиболее высокий социальный резонанс в обществе вызывают групповые несчастные случаи в угольных шахтах при авариях, связанных со взрывами, пожарами и выбросами газа. Групповой травматизм шахтеров со смертельным исходом в связи с авариями при взрывах газа и пыли, газодинамических явлениях и пожарах составляет 28,2% от общего числа погибших в угольных шахтах. Экономический ущерб от последствий взрыва на угольной шахте может составлять десятки миллионов долларов, а в отдельных случаях взрывы и пожары приводят к полному разрушению выработок шахт и их закрытию. На рис.1 показан по годам показатель смертельного травматизма в угольной промышленности Украины, на рис. 2 – структура травматизма по травмирующим факторам, приводящим к смерти людей в угольных шахтах.

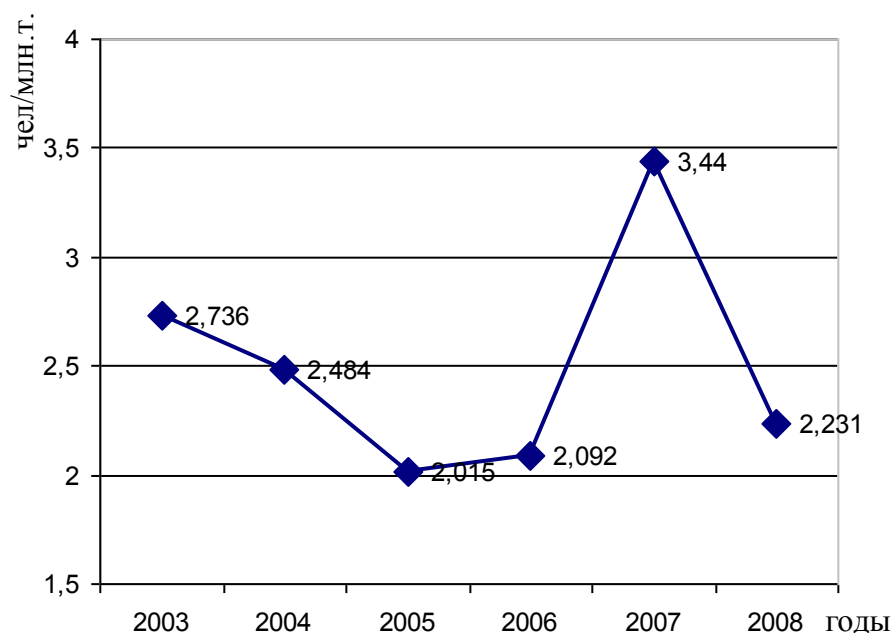


Рис. 1. Показатель смертельного травматизма в угольной промышленности

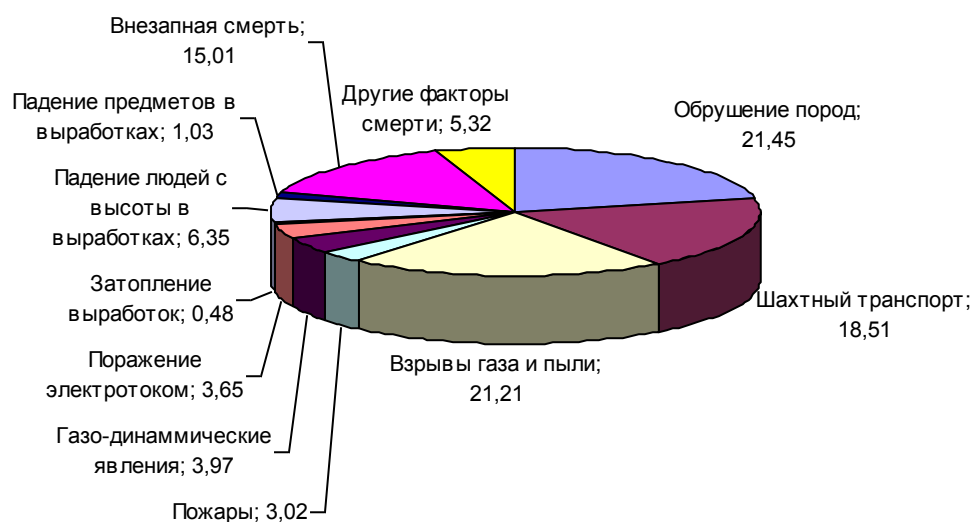


Рис. 2. Структура смертельного травматизма (%) в угольных шахтах Украины

Таким образом, в связи со сложившимся крайне тяжелым положением по безопасности труда на угольных шахтах необходимо максимально эффективное разрешение проблемы взрывобезопасности технологических процессов в горных выработках.

Анализ последних исследований показал, что взрывобезопасность производственных процессов на технологических выемочных и подготовительных участках угольных шахт не соответствует стандартам по технике безопасности труда. Взрывобезопасность в угольных шахтах, опасных по газу и взрывам угольной пыли обеспечивается взрывопреупреждением, взрывозащитой и организационно-техническими мероприятиями. Вместе с тем, возникновение ава-

рий на угольных шахтах, как правило, связано с нарушением целого комплекса мероприятий по обеспечению взрывобезопасности, в результате чего происходит образование взрывоопасной среды, возникает источник ее воспламенения, а система взрывозащиты не способна локализовать и ликвидировать взрыв. Во многом это связано с производственной деятельностью человека вследствие ошибочных действий, происходящих при высоком ритме работы в сложных условиях труда на большой глубине шахт и ненадежностью средств взрывозащиты. Отсутствием эффективного контроля состояния горного массива и газового состава воздуха в выработках. Установлено, что при авариях с групповыми несчастными случаями удельный вес ошибочных действий людей, приводящих к катастрофам, составлял более 90% по сравнению с другими факторами. Поэтому человеческий фактор играет ключевую роль в системе обеспечения безопасности работ в угольных шахтах. Принятая сегодня идеология безопасности труда в угольных шахтах, опасных по газу и пыли базируется на администрировании и ужесточении мер воздействия на работающих в шахтах людей, вместо того, чтобы создавать технологии, обеспечивающие предотвращение техническими средствами ошибочных действий людей и возникновение аварийных ситуаций.

Целью работы является формирование идеологии безопасности труда в угольных шахтах, опасных по газу и пыли направленной на использование безопасных средств и способов производства горных работ, предотвращающих аварии, взрывы газа и угольной пыли в выработках.

Материалы исследований. Безопасность или небезопасность горного производства функционально взаимосвязана с уровнем производственных сил в угольной отрасли и сложившимися производственными отношениями. Частная форма собственности на средства производства обострила противоречия между интересами собственника шахты и потребностями шахтеров в охране труда. Производственные интересы собственников шахт ориентированы на получение прибыли, а выполнение требований безопасности они прагматично относят к администрированию и предписаниям, налагаемым на горнорабочих. Однако интенсификация горного производства, возрастание угроз природного и техногенного характера практически нивелируют систему организационных, технических и профилактических мероприятий, направленных на безопасность труда. Несоответствие между желаемым и действительным усугубляется, несмотря на то, что собственники шахт закупают необходимые средства безопасности, так как эффективность этих средств определяется, в основном, человеческим фактором. Самые крупные катастрофы на угольных шахтах происходят именно на наиболее производительных шахтах им. А.Ф. Засядько, «Ульяновская», «Распадская». Интенсификация горного производства приводит к ошибочным и непрофессиональным действиям шахтеров в сложных, зачастую не пригодных для нормального функционирования человека условиях труда. Это указывает на то, что администрированием и организационно-техническими мероприятиями проблему безопасности труда в угольных шахтах не решить. Требуются серьезные финансовые вложения в развитие горной науки и разработку технологических средств автоматической взрывозащиты шахт. Это связано с тем, что

основные требования безопасности труда в угольных шахтах могут быть выполнены только в случае применения соответствующих безопасных технических средств и технологий добычи угля, проведения выработок и т.д. Тогда идеология безопасности труда в угольных шахтах должна базироваться на исключении человеческого фактора из числа влияющих на безопасность производственного процесса. Рассмотрим, на чем должна базироваться идеология, которая поможет решить проблему взрывобезопасности в угольных шахтах.

Анализ причин аварий в угольных шахтах показал, что 80% воспламенений метана происходит в тупиковых подготовительных горных выработках и очистных забоях. На этих технологических участках угольных шахт для разрушения горных пород и угля применяют механический способ разрушения с помощью угольных и проходческих комбайнов и буровзрывной способ. Механизированный комплекс оборудования для разрушения горных пород и угля состоит из очистных и проходческих комбайнов, механизированной крепи, конвейеров, высоковольтного электрооборудования. Он характеризуется высокой стоимостью и производительностью, потребляет много электроэнергии, требует постоянного обслуживания и поддержания его в соответствующем техническом состоянии. Буровзрывной способ разрушения – буровзрывные работы (БВР) более простой, мобильный, менее энергозатратный и дешевый. Однако главным преимуществом БВР является практически абсолютная безопасность разрушения газоносных горных массивов. Опыт разработки безопасных средств и способов взрывания для БВР показал, что можно создать высокопредохранительные взрывчатые вещества и средства взрывания, которые могут применяться в опасных по газу и взрывам пыли условиях угольных шахт. Безопасные во взрывоопасной среде горные машины и электропривод для них создать не удастся. При их применении в этих условиях требуются надежные системы взрывозащиты. Однако их тоже не удастся создать по целому ряду причин, из которых необходимо выделить основные. Первая – система взрывозащиты органически не вписывается в технологию рабочего процесса и не является неотъемлемой частью механизмов, его осуществляющих, вторая – не производятся постоянный мониторинг взрывоопасности атмосферы, состояния горного массива в рабочей зоне и превентивные меры борьбы с взрывами горючих газов на стадии их образования и воспламенения (взрывопредупреждение).

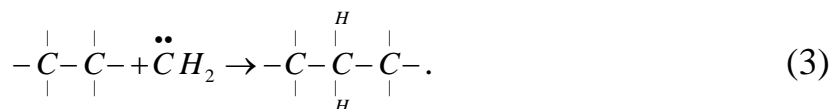
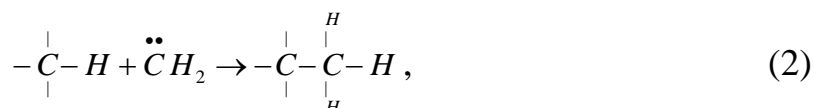
При ведении горных работ выделение метана в выработки и образование мелкодисперсной угольной пыли связаны с разрушением газоносных угольных пластов. Последние исследования [3, 4] показали, что процессы генерации метана и других горючих газов при разрушении угля связаны с механохимическим разложением органического углеводородного угольного вещества, состоящего из макромолекул. Макромолекулы углей, образованных на определенных стадиях метаморфизма, могут легко разрушаться и генерировать предельные и непредельные углеводороды (CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2), водород, оксид углерода и наночастицы углерода. Наночастицы углерода обладают большой поверхностной энергией, легко вызывают в продуктах разложения угольного вещества цепные реакции, в результате которых происходит образование большого числа промежуточных продуктов, из которых наиболее устойчивым явля-

ется метилен $\ddot{C}H_2$. Метилен представляет собой очень активный радикал, легко вступающий в химические реакции. В зонах метастабильного состояния угольного вещества возможно протекание следующих химических реакций с участием метилена:

– образование взрывоопасного ацетилена:

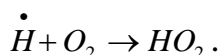
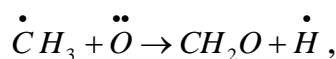
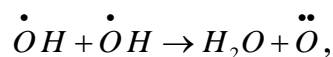
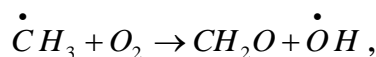


– «реакции внедрения» по связи C – H и C – C в угольных макромолекулах:



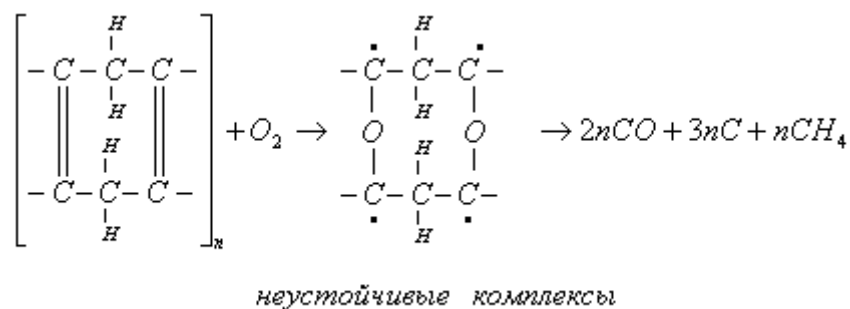
По реакции (1) образуются крайне опасные горючие газы – водород и ацетилен. Водород легко воспламеняется, а его смесь с воздухом детонирует при концентрации водорода 15...63,5%. Ацетилен – одно из самых мощных химических взрывчатых веществ. По удельной энергии взрыва и способности к детонации он превосходит печально известный нитроглицерин. Ацетилен нестабилен, при сравнительно невысоких температуре (около 330⁰С) и давлении (0,2 МПа) самопроизвольно детонирует. Для его взрывчатого разложения не нужен кислород воздуха. Поэтому в зоне саморазложения угольного вещества при накоплении ацетилена до концентрации 2,1% можно ожидать спонтанный взрыв ацетилен-метан-водородной смеси без участия в этом процессе каких-либо дополнительных источников инициирования детонации.

Реакции (2) и (3), протекающие в угольном веществе при его механоактивации, приводят к образованию «активного» угольного вещества, способного самопроизвольно разлагаться и воспламеняться. Образование в макромолекулах угля метильных групп – CH₃ приводит к тому, что при разрушении угольного вещества происходит генерация в продукты его распада метил-радикала $\dot{C}H_3$. Он легко вступает в цепные реакции с кислородом воздуха:



Далее сложный радикал, распадаясь: $HO_2 \rightarrow \ddot{O} + \dot{O}H$, приводит к разветвлению цепей, которые обеспечивают интенсивное окисление продуктов распада угля в газовой фазе. Это приводит к выделению тепла и интенсивному разогреванию угля, что вызывает его самовоспламенение. Реакция (3) обеспечивает перестройку макромолекул угля в графеновые комплексы, которые образуют газовые клатраты. Они устойчивы только при высоком давлении в зонах напряжен-

ного состояния горного массива. При разрушении угля, изменении горного давления и ГДЯ клатраты распадаются, а образующиеся графены химически очень активны. Они могут вступать в реакции с кислородом, находящимся даже в массе угля, образуя метастабильные комплексы, легко распадающиеся с выделением большого количества горючих газов, создающих взрывоопасные смеси с воздухом. Например:



В результате разрушения угольного вещества образуются продукты распада, которые создают с воздухом взрывоопасные смеси. Мелкодисперсная пыль из такого модифицированного угля реакционноспособна по отношению к кислороду и обладает пирофорностью. Наличие ацетилена в продуктах распада угольного вещества и пирофорность мелкодисперсной пыли (нанопыль) снимают вопрос об источниках воспламенения. Становится очевидным, что в определенных условиях горных работ горючие газы, генерируемые углем, могут самовоспламеняться, а наночастицы пыли при движении в потоке воздуха самовозгораться. При такой опасности горных работ трудно требовать от людей, их осуществляющих, каких-либо превентивных мер по борьбе с процессами механохимической активации угольного вещества и обеспечению безопасности работ. На больших глубинах при высокой температуре и интенсивной технологии работ состояние человека не адекватно его нормальному поведению на поверхности. Создающееся психофизиологическое состояние человека настолько отрицательно, что требовать от него выполнения каких-либо сложных, четко продуманных действий не возможно. Поэтому требуется совершенно новая система обеспечения безопасности труда в угольных шахтах, опасных по газу и взрывам угольной пыли. В ее основу нужно положить выполнение следующих принципов обеспечения взрывобезопасности угольных шахт.

1. Мониторинг взрыво- и пожароопасности ситуации при технологических процессах:

- обеспечение безопасности в шахте как функция предупредительной сигнализации наличия горючих газов и контроля их состава в горной выработке и выработанном пространстве;

- обеспечение безопасности в шахте как функция предупредительной сигнализации наличия и предупреждение появления источников воспламенения горючих газов и угольной пыли в выработке и выработанном пространстве по динамике роста концентрации непредельных углеводородов, водорода, оксида углерода и наночастиц угольной пыли;

- обеспечение безопасности в шахте как функция контроля напряженного состояния горного массива и предупредительная сигнализация вероятности ГДЯ и выбросов газа.

2. Взрывопреупреждение горючих газов, борьба с самовозгоранием угля и пирофорностью наночастиц угольной пыли:

- создание многофункциональной ингибиторной среды в горных выработках, как в отношении горючих газов, так и наночастиц угольной пыли;
- принудительная инертизация и флегматизация рабочей зоны и выработанного пространства в течение всего технологического процесса;
- предварительная дегазация угольных пластов;
- по данным телеметрического контроля автоматическое превентивное экстренное создание предохранительной среды в сети горных выработок и выработанном пространстве;
- предварительное гидронасыщение угольных пластов перед их выемкой.

3. Взрывозащита технологических процессов:

- гидровзрывание и применение высокопредохранительных ВВ при взрывных работах для разрушения горных пород;
- утилизация угольной пыли в выработках, ее смыв и перевод в невзрывчатое состояние;
- автоматические взрывопреградительные заслоны в рабочих зонах при добыче угля и проведении выработок;
- ингибирование процесса самовоспламенения угля в пластах, целиках, выработанном пространстве.

4. Локализация поражающего действия взрыва и горения угля:

- ловушки для ударных и детонационных волн в выработках;
- противопожарное экранирование выработок и участков выработанного пространства;
- противовыбросные экраны при ГДЯ.

Новый уровень принципов обеспечения взрыво- и пожаробезопасности в выработках угольных шахт состоит в том, что они должны формировать систему, в которой средства взаимосвязаны и действие их строго синхронизировано во времени и пространстве. Это необходимо по двум важным причинам. Первая – необходимо создать полноценный рабочий процесс, который бы прерывался только в случае реальной опасности взрыва или пожара. Вторая – эффективность предотвращения взрыва, пожара и спасения людей на опасном участке шахты. Для выполнения безопасности работ необходимо, чтобы мониторинг взрыво- и пожароопасности был взаимосвязан с взрывопреупреждением при технологическом процессе работ. Это достигается обработкой телеметрических данных датчиков и при необходимости выдачей сигнала на включение систем, обеспечивающих ингибирование и флегматизацию среды в выработках и выработанном пространстве. Аналогично должны быть связаны взрывозащита в выработках и локализация в них действия опасных факторов взрыва и пожара. Очевидно, что погасить пожар и предотвратить распространение взрыва горючих газов – это только часть ликвидации опасной ситуации, другая часть за-

ключается в необходимости спасения людей, их защиты от действия ударных волн, высокой температуры и токсичных газов продуктов взрыва.

Достоверность и обоснованность предложенных принципов показана на примере обеспечения безопасного производства взрывных работ в газоносных горных массивах угольных шахт. Известно, что метано-воздушная смесь (МВС) может воспламеняться в трещинах массива, а пламя может распространяться по трещинам на большие расстояния в выработанное пространство и забой выработки. Учитывая это, было предложено использовать высокопредохранительные ВВ и их гидровзрывание для создания предохранительной среды в забое выработки и предотвращения воспламенения МВС в трещинах горного массива при производстве взрывных работ [5]. При гидровзрывании зарядов высокопредохранительных ВВ в горных породах заряд со всех сторон должен быть окружен водой или водным раствором соответствующей соли-ингибитора. Во время гидровзрывания 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. 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 метиленом. В связи, с чем полностью исключается вероятность возникновения процессов самовоспламенения горючих газов, образование взрывоопасного ацетилена и пирофорных наночастиц угольной пыли. Создание взрывозащиты в горной выработке при производстве взрывных работ обеспечивается использованием шпуровых зарядов ПВВ VI класса, которые при взрыве формируют в забое газодинамическую двухфазную ингибиторную среду, флегматизирующую горючие газы в трещинах массива и в забое выработки на время короткозамедленного взрывания [6]. На Украине в 1995г. началось применение в особо опасных условиях угольных шахт высокопредохранительного, устойчивого к выгоранию угленита 10П (ПВВ VI класса). По настоящее время при применении угленита 10П в горных выработках не отмечено случаев воспламенения горючих газов, самовоспламенения угля и угольной пыли, выгораний ПВВ. Объем применения угленита 10П постоянно увеличивается. За этот период времени использовано около 5000 т. угленита 10П, а в 2009...2010г.г. потребность в нем возросла до 300...400 т. в год. Это указывает на все более широкое применение безопасной технологии БВР в особо опасных условиях угольных шахт. Она обеспечивает предупреждение взрыва горючих газов и угольной пыли, взрывозащиту в забое выработки при короткозамедленном взрывании шпуровых зарядов автоматически за счет применения высокопредохранительного ВВ угленита 10П. При

взрыве данного ВВ образуются ингибиторы, которые эффективно предотвращают воспламенение горючих газов и угольной пыли, создают предохранительную среду в забое выработки и прилегающих к ней трещинах горного массива, без участия людей и привлечения дополнительных технических средств.

Выводы

1. Установили, что при авариях с групповыми несчастными случаями (взрывы, пожары, выбросы газа) основным фактором, приводящим к катастрофе, является человеческий фактор в силу крайне неблагоприятного психофизиологического состояния человека при интенсивном труде на большой глубине шахт.

2. Разрушение угольного вещества приводит к генерации опасных горючих газов и образованию мелкодисперсной угольной пыли (наночастицы). Наличие в продуктах разложения угля ацетилена и образование пыли активного угля в виде наночастиц делают возможным самовоспламенение взрывоопасной смеси метана и пыли с воздухом.

3. Опасности горного производства на большой глубине угольных шахт можно ликвидировать только применением безопасных средств и способов разрушения угля и пород при проведении выработок и добыче угля.

4. Предложена новая идеология безопасности труда в угольных шахтах на основе принципов взрывобезопасности, которые формируют средства мониторинга взрывоопасной ситуации, взрывопредупреждения, взрывозащиты и локализации действия опасных факторов взрыва и пожара.

5. Достижение взрывобезопасности угольных шахт требует взаимосвязи средств мониторинга взрыво- и пожароопасности и систем взрывопредупреждения, а взрывозащита в выработке должна сочетаться с локализацией действия опасных факторов взрыва и пожара на людей. На сегодняшний день принципы взрывобезопасности воплощены в технологию БВР при гидровзрывании и применении высокопредохранительных ВВ, создающих в выработке и трещинах массива предохранительную среду.

Л и т е р а т у р а

1. Кашуба О.И. Анализ причин травматизма на шахтах Украины / О.И. Кашуба, Н.Б. Левкин, Е.А. Спиридонов, М.С. Ковчужный // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. Сб. научн. тр. МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 2008. – С. 172-177.

2. Румежак О.Н. Состояние и проблемы промышленной безопасности на горнодобывающих предприятиях Украины / Румежак О.Н. // Науковий весник НГУ. – Днепропетровск, 2010. - № 2. – С. 36-39.

3. Калякин С.А. Механизм образования взрывоопасной среды и ее детонации в зонах метастабильного состояния угольного вещества / Калякин С.А. // Вести Донецкого горного института. – Донецк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – Ч. 2. – С. 27-34.

4. Калякин С.А. Газодинамический взрыв в забое выработки при выбросе угольного пласта / Калякин С.А. // Форум горняков – 2009. Матер. междунар. конф. «Подземные катастрофы: модели, прогноз, предупреждение». – Днепропетровск: НГУ, 2009. – С. 90-100.

5. Калякин С.А. Охрана труда как результат применения безопасных средств и способов разрушения горных пород / Калякин С.А., Шевцов Н.Р. // Вести Донецкого горного института. – Донецк: ДНВЗ «ДонНТУ», 2008. – С. 76-83. (ч.1).

6. Калякин С.А. Взрывозащита горных выработок при взрывных работах/ Калякин С.А.//Сб. «Современные ресурсоэнергосберегающие технологии горного производства». – Кременчуг: КДУ, 2010. – Вып.1/2010(5). – С 142-148.